

Estudio de defectos en Fe irradiado mediante técnicas *ab-initio*

Pablo Canca López
pcanca@ugr.es

Blanca Biel Ruiz (UGR) | Christophe Ortiz (CIEMAT)

THE KEY TO
THE FUTURE



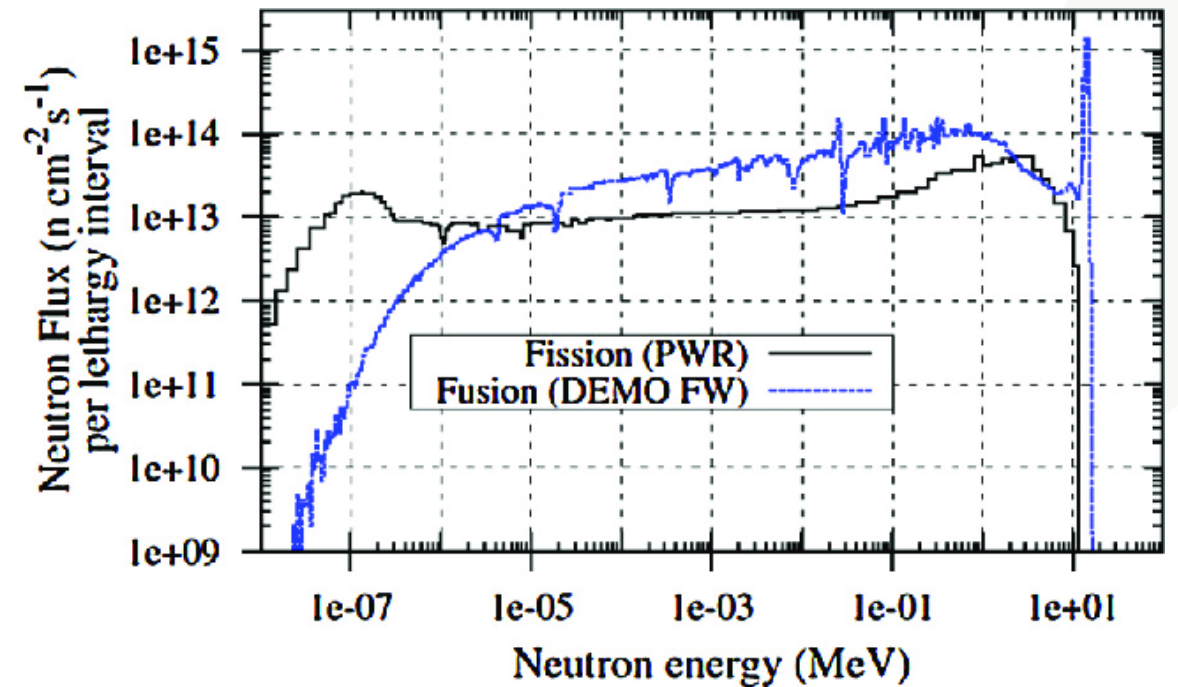
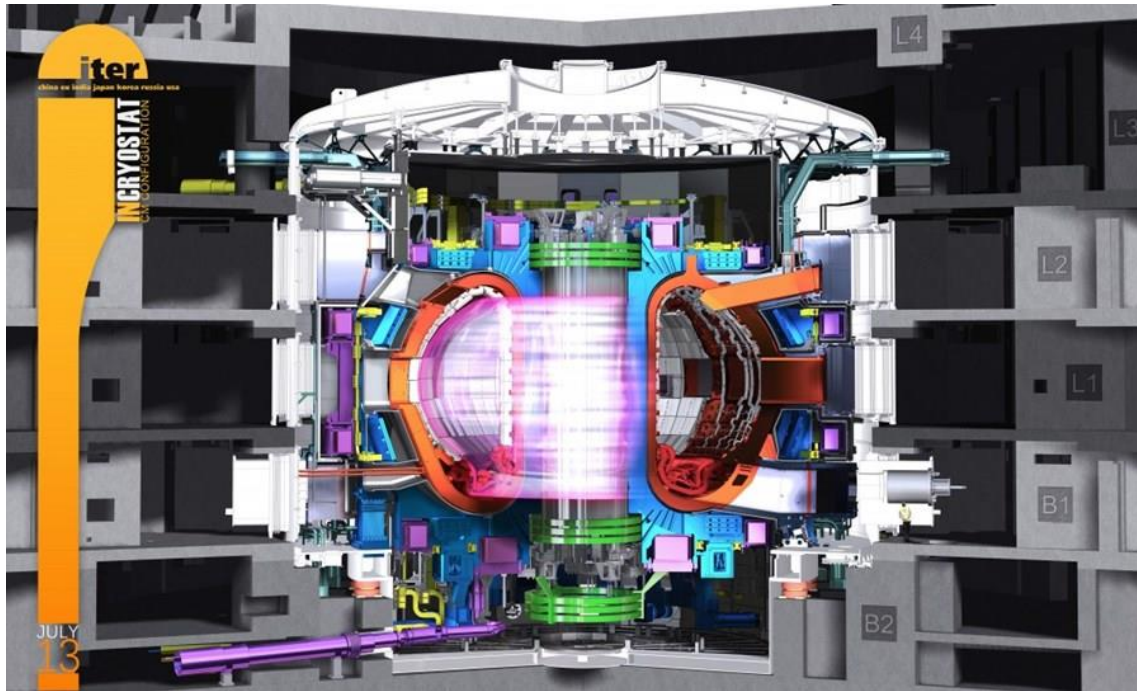
Contenidos

1. Sobre el daño por irradiación
2. Herramientas computacionales para analizarlo
3. Modelizando el problema
4. Estado actual
5. Conclusiones



El daño por irradiación

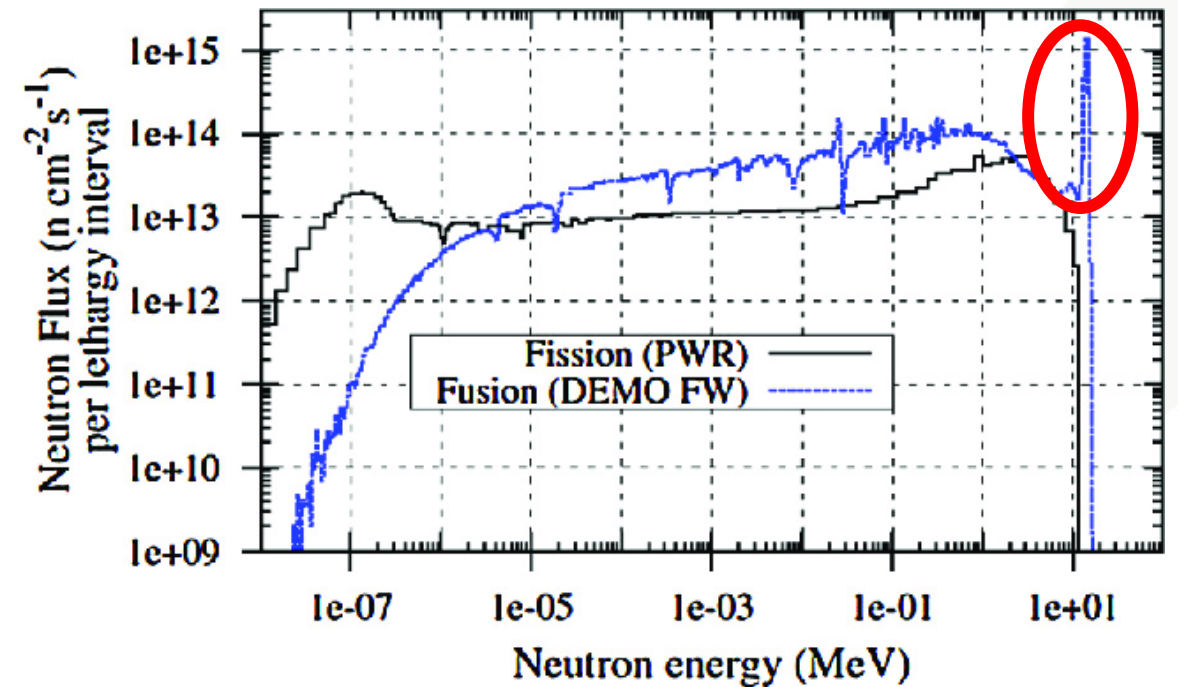
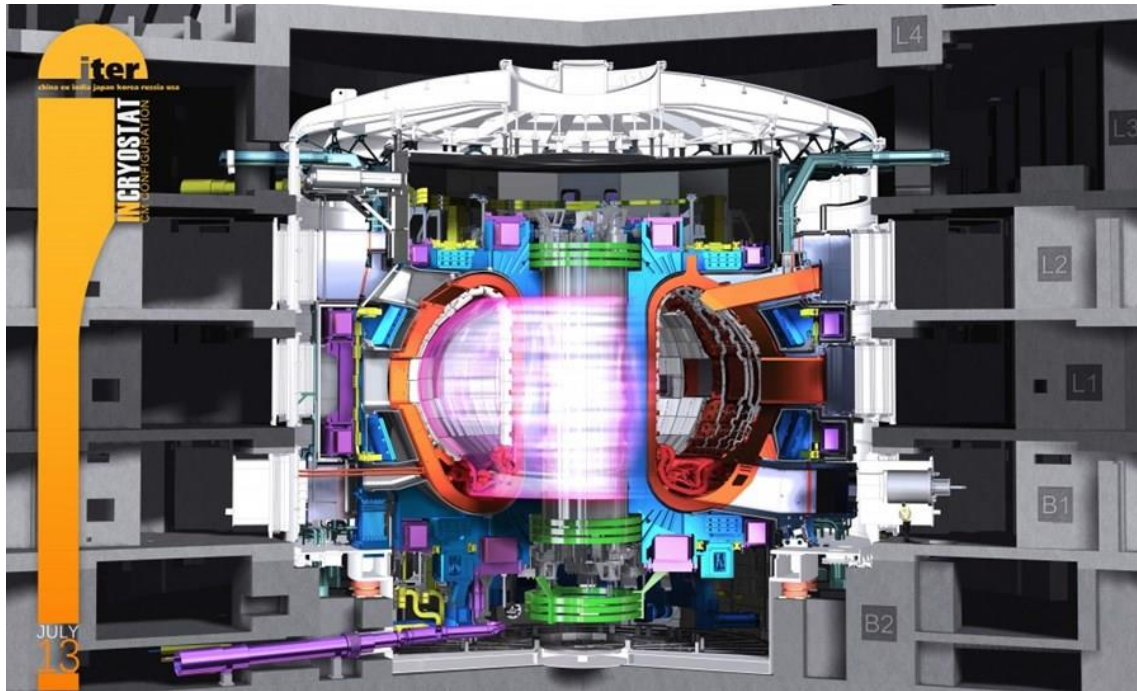
La irradiación de neutrones en los reactores de fusión



Gorley, M. et al. (2020). The EUROfusion materials property handbook for DEMO in-vessel components—Status and the challenge to improve confidence level for engineering data. *Fusion Engineering and Design*, 158, 111668.

El daño por irradiación

La irradiación de neutrones en los reactores de fusión

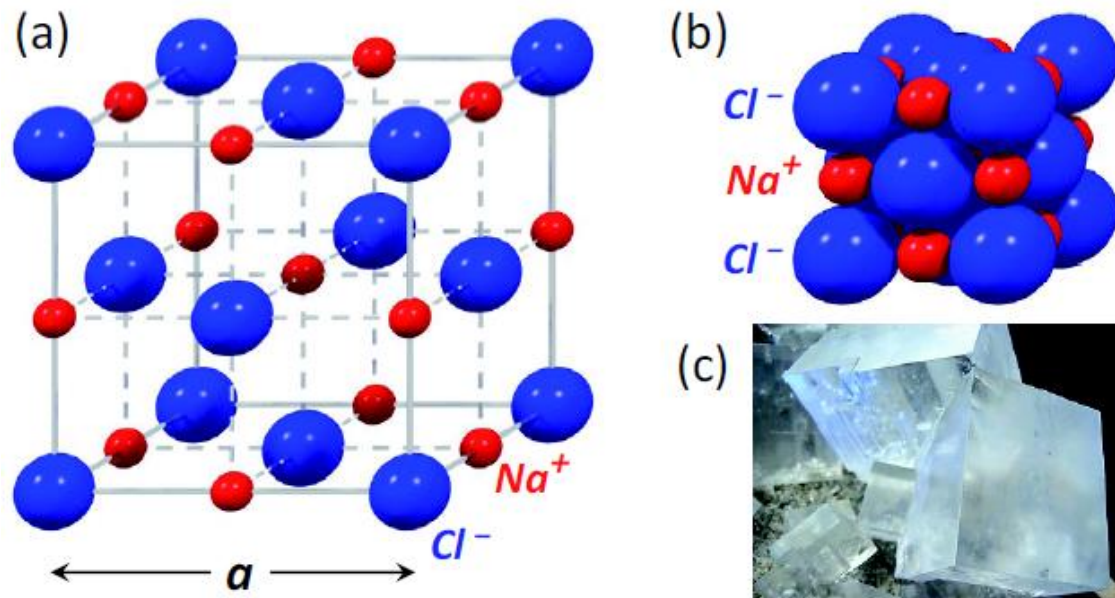


Gorley, M. et al. (2020). The EUROfusion materials property handbook for DEMO in-vessel components—Status and the challenge to improve confidence level for engineering data. *Fusion Engineering and Design*, 158, 111668.

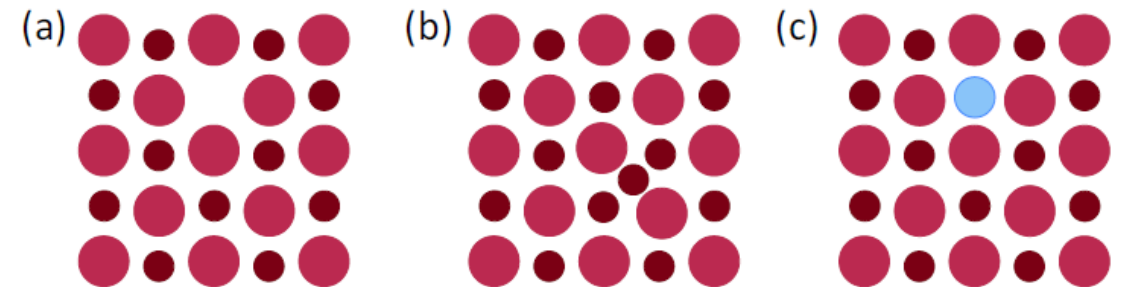
El daño por irradiación

La estructura de los sólidos

ESTRUCTURA CRISTALINA DEL NaCl



TIPOS DE DEFECTOS

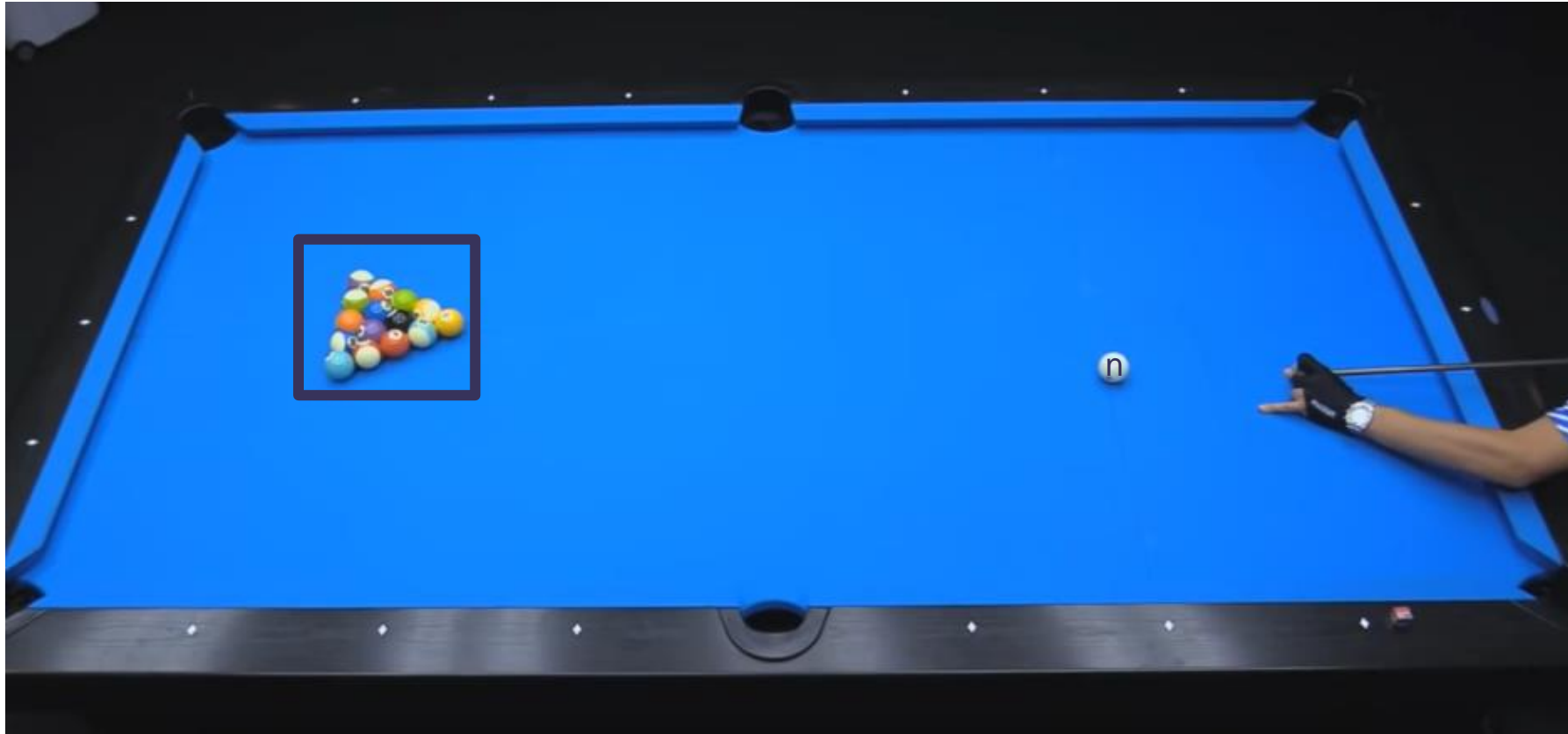


Gross, R., Marx, A., Einzel, D. & Geprags, S. (2018). Festkorperphysik: Aufgaben und Losungen. Berlin, Boston: De Gruyter.

El daño por irradiación



El daño por irradiación



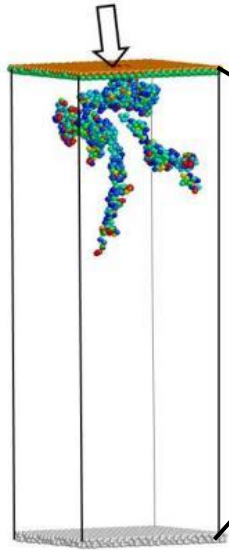
El daño por irradiación



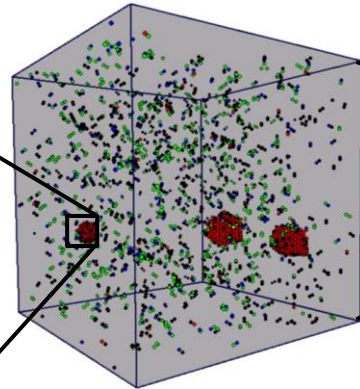
El daño por irradiación

Escalas temporales y espaciales

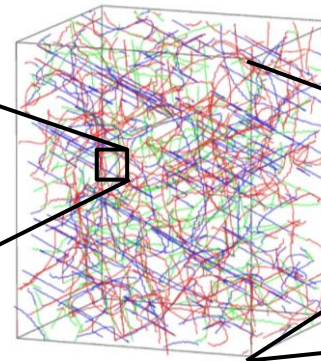
Cascada de colisión
Escala atómica
fs-ps / nm³



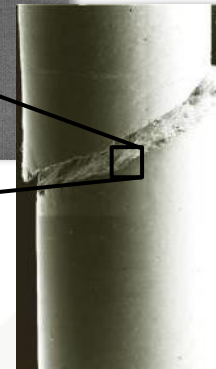
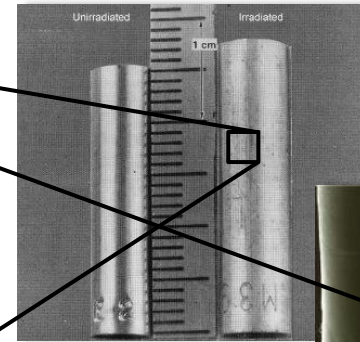
Nucleación/Crecimiento de defectos
Mesoscópico
ns - año / nm³ - μm³



Interacción defectos-infraestructura
Micro-Macro: μm³ - cm³



Modificación de las
propiedades del material



Herramientas computacionales

La teoría del funcional de la densidad (DFT)

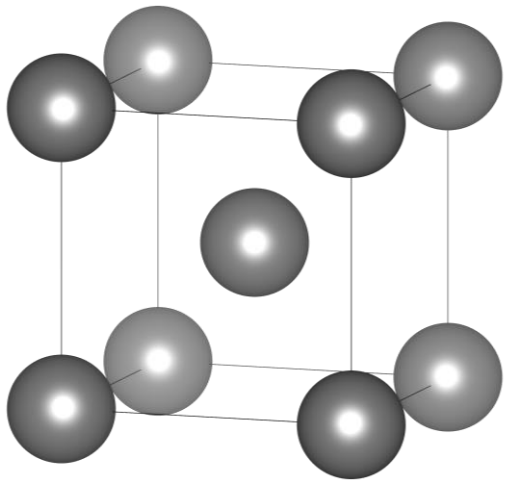
- Resolver la ecuación de Schrödinger es, en general, imposible
- Por ejemplo, para resolverla para el CO_2 , necesitaríamos 2^{66} términos
- Una solución: la DFT

Ventajas	Desventajas
Exacta	No es posible conocer un 10 % de la energía
Los funcionales de intercambio son bastante buenos	No son sencillos de mejorar
Computacionalmente viable	Más costosa que otras técnicas
Permite estudiar cristales y moléculas con mucha precisión	Es computacionalmente costoso para $O(10^3)$

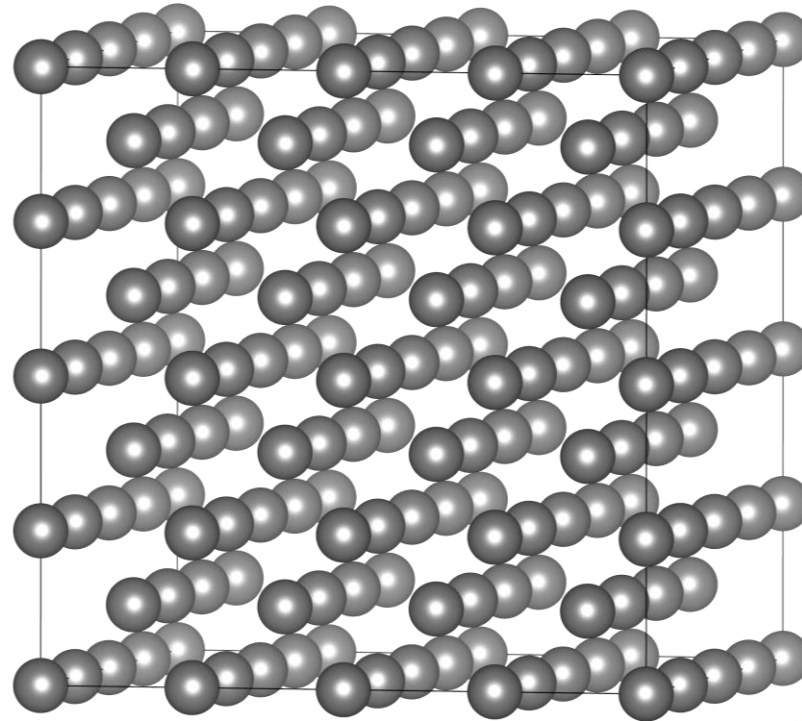
Modelización del problema

Vienna *Ab-initio* Simulation Package (VASP)

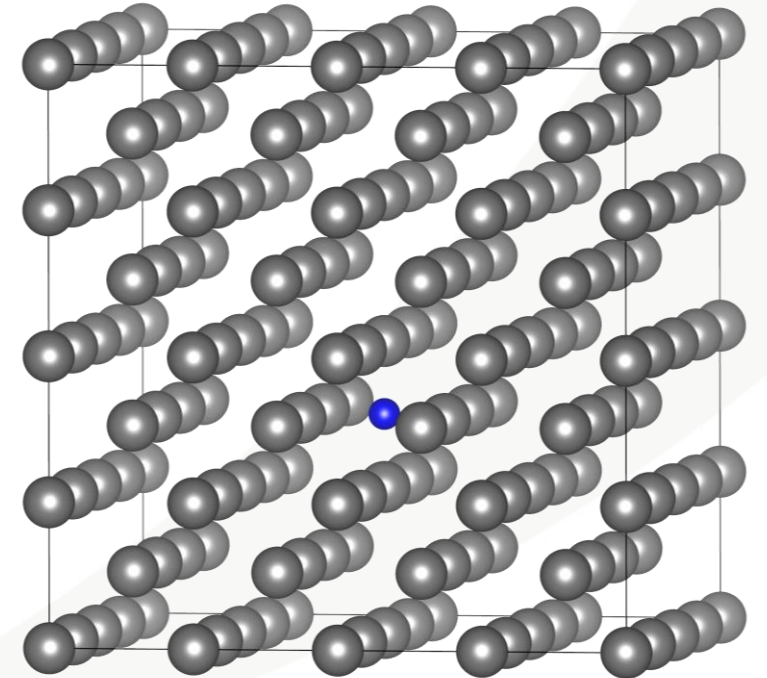
CELDA UNIDAD DE Fe



SUPERCELDA DE Fe



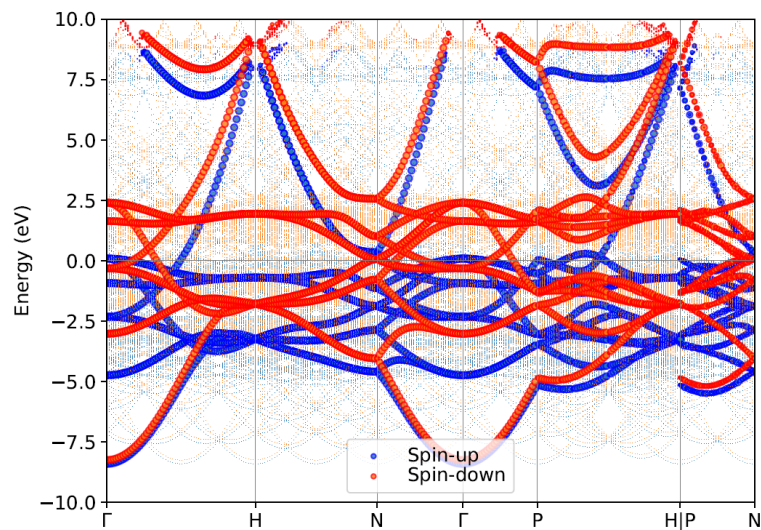
SUPERCELDA DE Fe CON UN DEFECTO



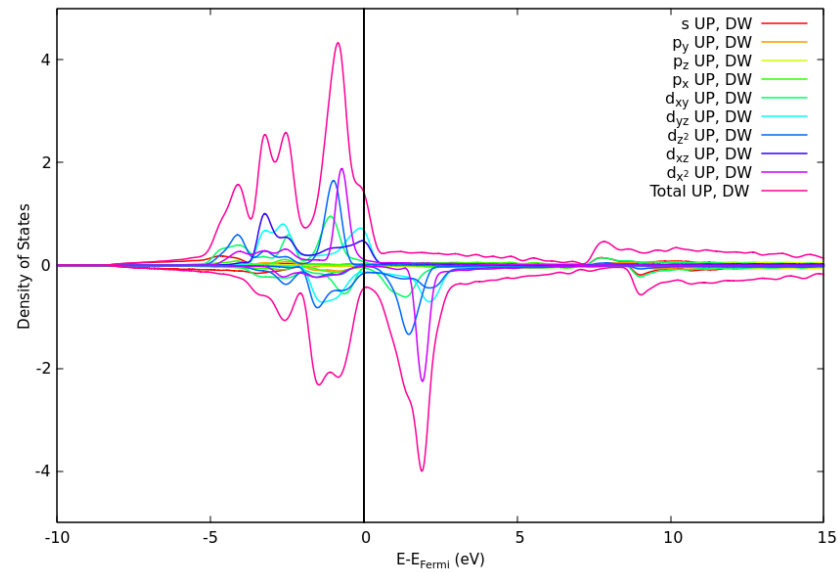
Modelización del problema

Cálculos con VASP

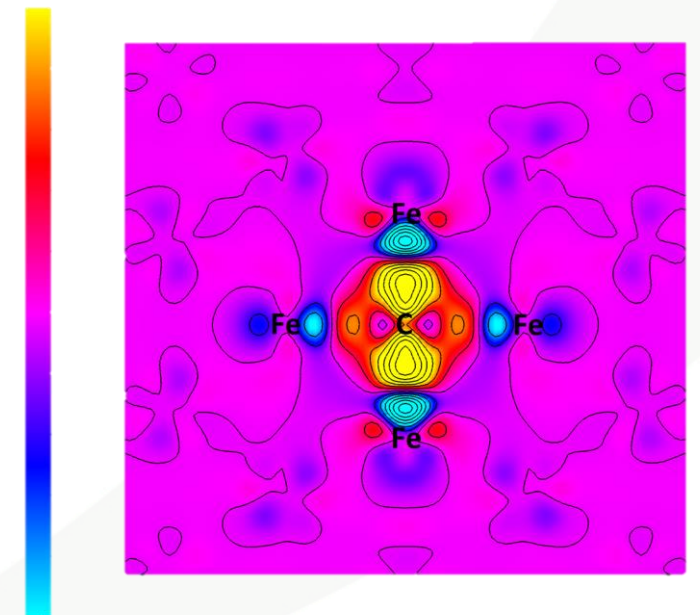
DIAGRAMAS DE BANDAS



DENSIDAD DE ESTADOS



DIFERENCIAS DE DENSIDAD DE CARGA



Modelización del problema

Cómo predecir la evolución de los defectos

- Vamos a eliminar un átomo de la red (V):

$$E_f(V) = E(N\text{Fe}) - NE(\text{Fe})$$

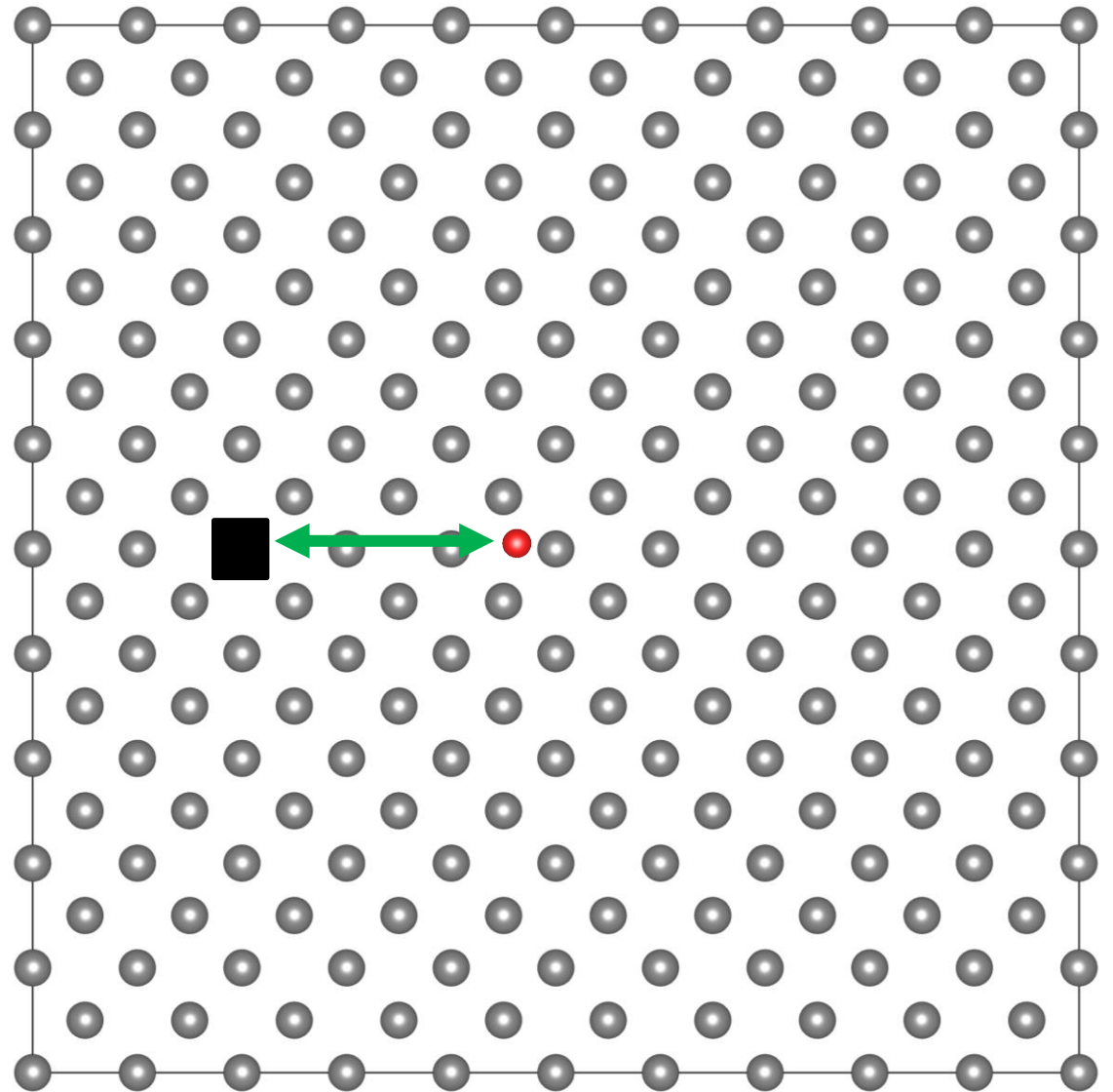
- Vamos a añadir un defecto intersticial (X):

$$E_f(X) = E(N\text{Fe} + X) - E(X) - NE(\text{Fe})$$

- ¿Existe una energía de unión entre X y V?

$$E_f(V_n X_m) = E(N\text{Fe} + mX) - mE(X) - NE(\text{Fe})$$

$$E_b(V_n X_m) = nE_f(V) + mE_f(X) - E_f(V_n X_m)$$



Modelización del problema

Convertir energías en probabilidades

Species	$E_{m(n)}$ (eV)	Migration type	Refs.
V_1	0.64	3D	DFT [56]
	0.67		DFT [57]
	0.66; 0.68		DFT [58]
	0.54		DFT [55]
	0.55		Exp [141,142]
	0.57 ± 0.14		Exp [143]
	0.63		EIP [59]
V_2	0.62	3D	DFT [57]
	0.66		DFT-based AKMC [58]
	0.55		DFT [55]
	0.63		EIP [59]
V_3	0.35	3D	DFT [57]
	0.36		DFT [55]
	0.58		EIP [59]
V_4	0.48	3D	DFT [57]
	0.44		DFT [55]
	0.63		EIP [59]
I $\langle 110 \rangle$	0.34	3D	DFT [57]
	0.31		Exp [62,69,70]
	0.27		EIP [64]
I $\langle 110 \rangle$ 2	0.42	3D	DFT [57]
	0.42		Exp. [62]
	0.36		EIP [64]
	0.55*		DFT (P. Olsson, private comm. 2012)*
I $\langle 110 \rangle$ 3	0.43	3D	DFT [57]**
	0.16		EIP [64]
I $\langle 110 \rangle$ 4	0.43**	3D (?)	[68]**
	0.16		EIP [64]
	0.8***		[10]***



Malerba, L., Anento, N., Balbuena, J. P., Becquart, C. S., Castin, N., Caturla, M. J., ... & Serra, A. (2021). Physical mechanisms and parameters for models of microstructure evolution under irradiation in Fe alloys—Part I: Pure Fe. *Nuclear Materials and Energy*, 29, 101069.

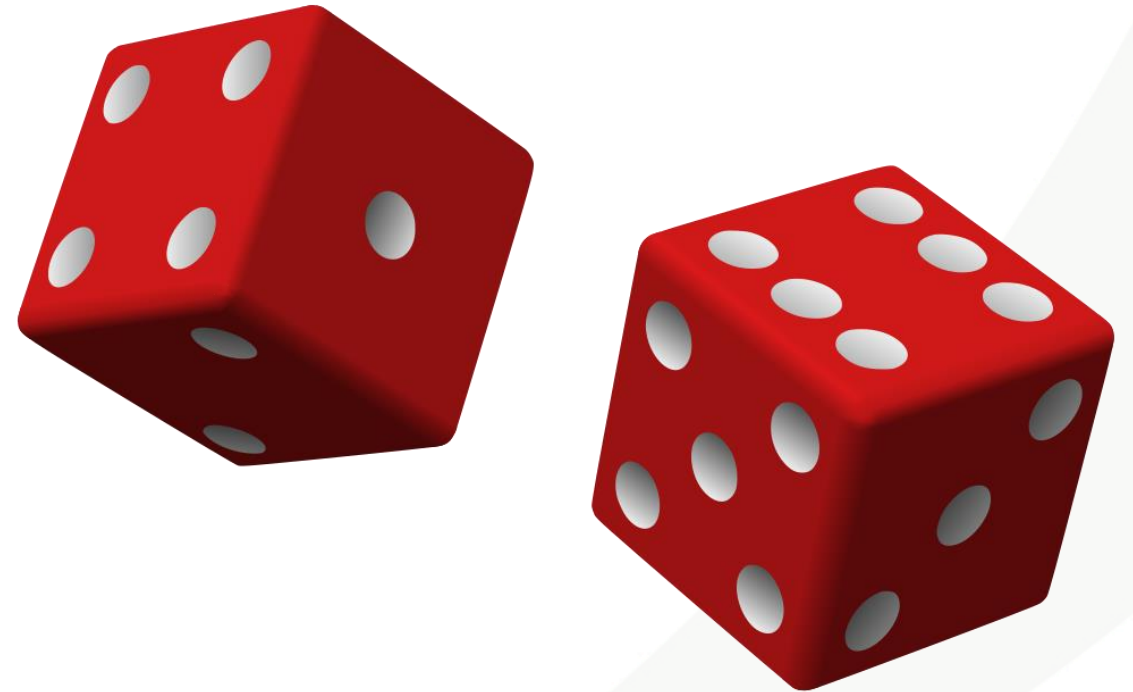
Modelización del problema

Convertir energías en probabilidades

Species	$E_{m(n)}$ (eV)	Migration type	Refs.
V_1	0.64	3D	DFT [56]
	0.67		DFT [57]
	0.66; 0.68		DFT [58]
	0.54		DFT [55]
	0.55		Exp [141,142]
	0.57 ± 0.14		Exp [143]
	0.63		EIP [59]
V_2	0.62	3D	DFT [57]
	0.66		DFT-based AKMC [58]
	0.55		DFT [55]
	0.63		EIP [59]
V_3	0.35	3D	DFT [57]
	0.36		DFT [55]
	0.58		EIP [59]
V_4	0.48	3D	DFT [57]
	0.44		DFT [55]
	0.63		EIP [59]
I $\langle 110 \rangle$	0.34	3D	DFT [57]
	0.31		Exp [62,69,70]
	0.27		EIP [64]
I $\langle 110 \rangle$ 2	0.42	3D	DFT [57]
	0.42		Exp. [62]
	0.36		EIP [64]
	0.55*		DFT (P. Olsson, private comm. 2012)*
I $\langle 110 \rangle$ 3	0.43	3D	DFT [57]**
	0.16		EIP [64]
I $\langle 110 \rangle$ 4	0.43**	3D (?)	[68]**
	0.16		EIP [64]
	0.8***		[10]***

Malerba, L., Anento, N., Balbuena, J. P., Becquart, C. S., Castin, N., Caturla, M. J., ... & Serra, A. (2021). Physical mechanisms and parameters for models of microstructure evolution under irradiation in Fe alloys—Part I: Pure Fe. *Nuclear Materials and Energy*, 29, 101069.

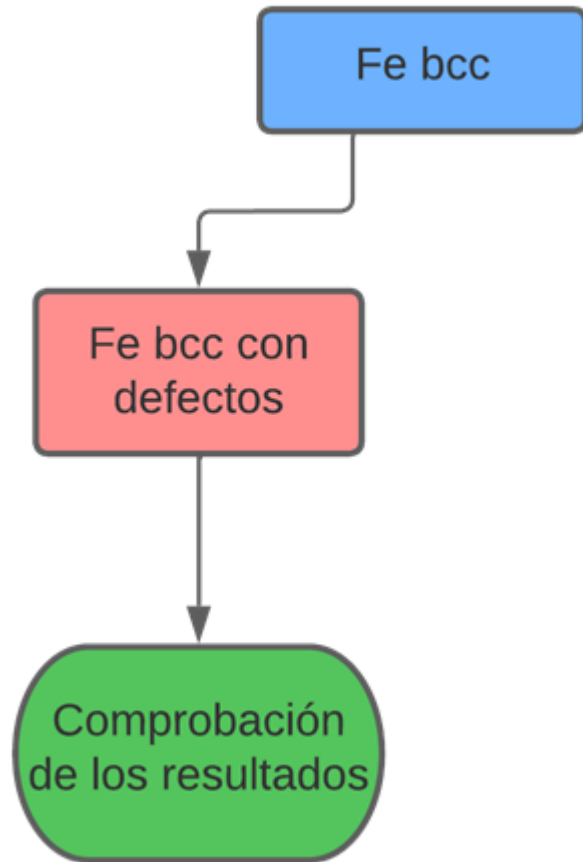
P. Canca. Defectos en Fe irradiado mediante técnicas ab-initio. DONES Meeting #7



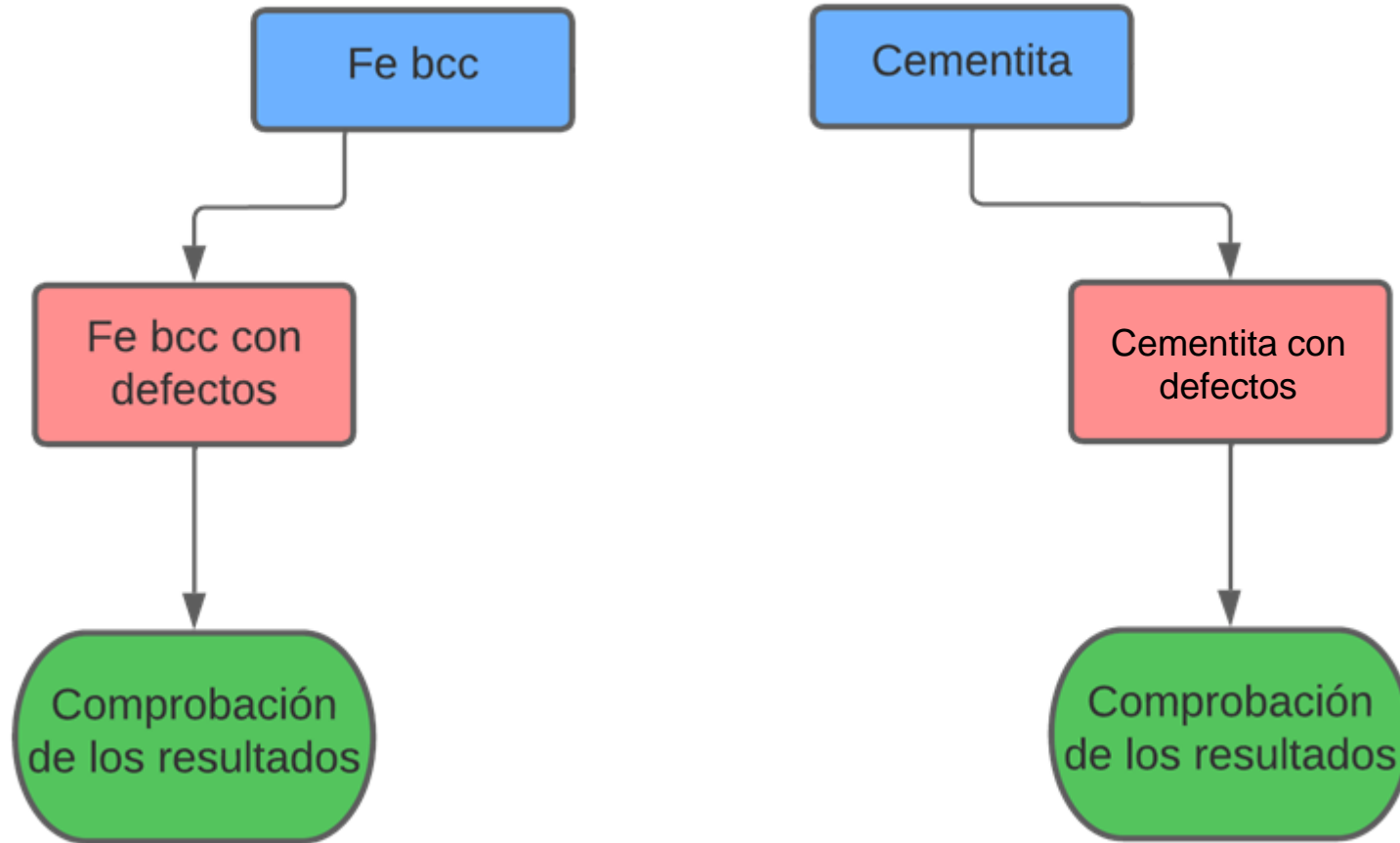
Kinetic Monte Carlo (KMC) Simulations

$$p(T) \propto e^{-E/k_B T}$$

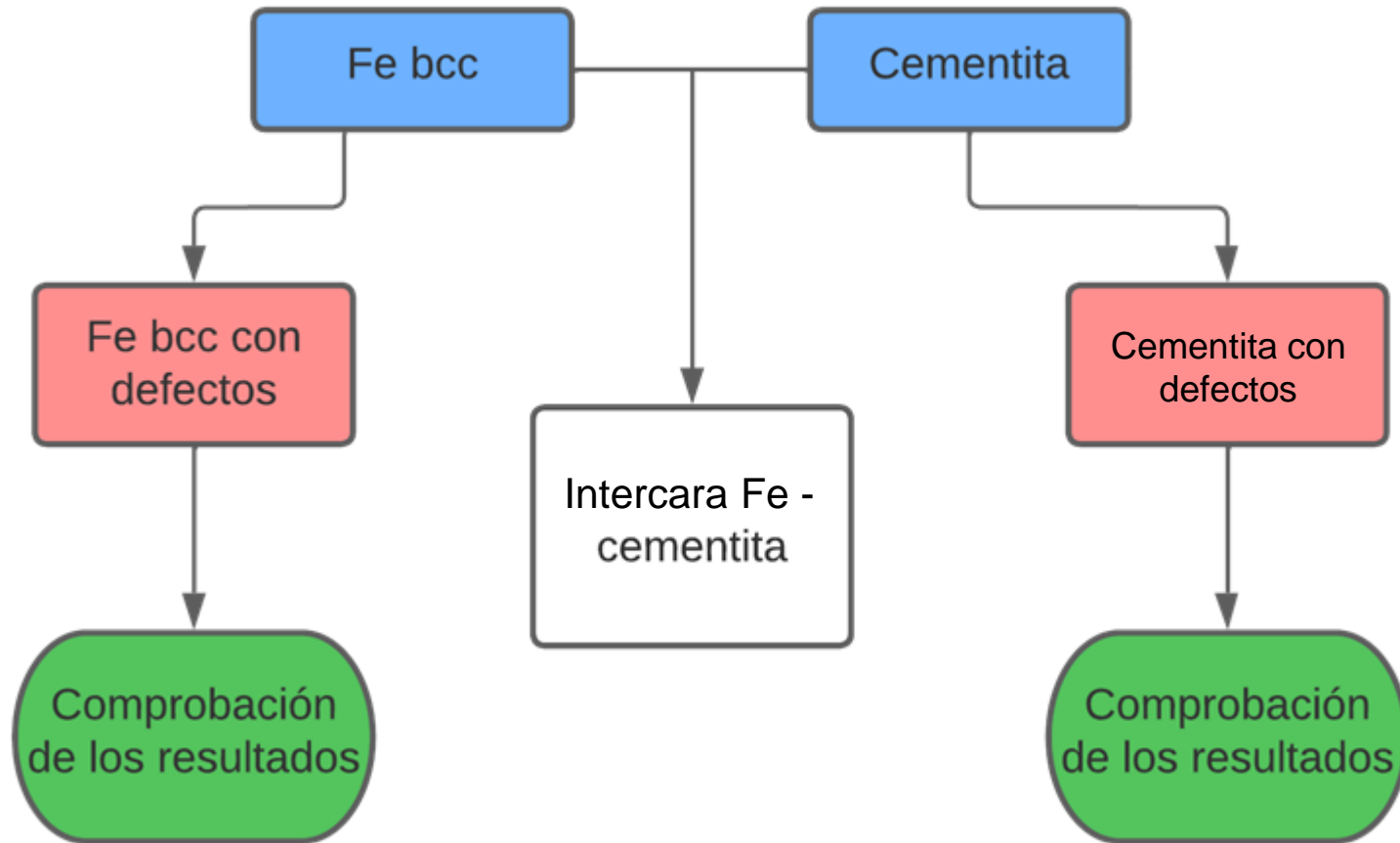
Estado actual de la Tesis



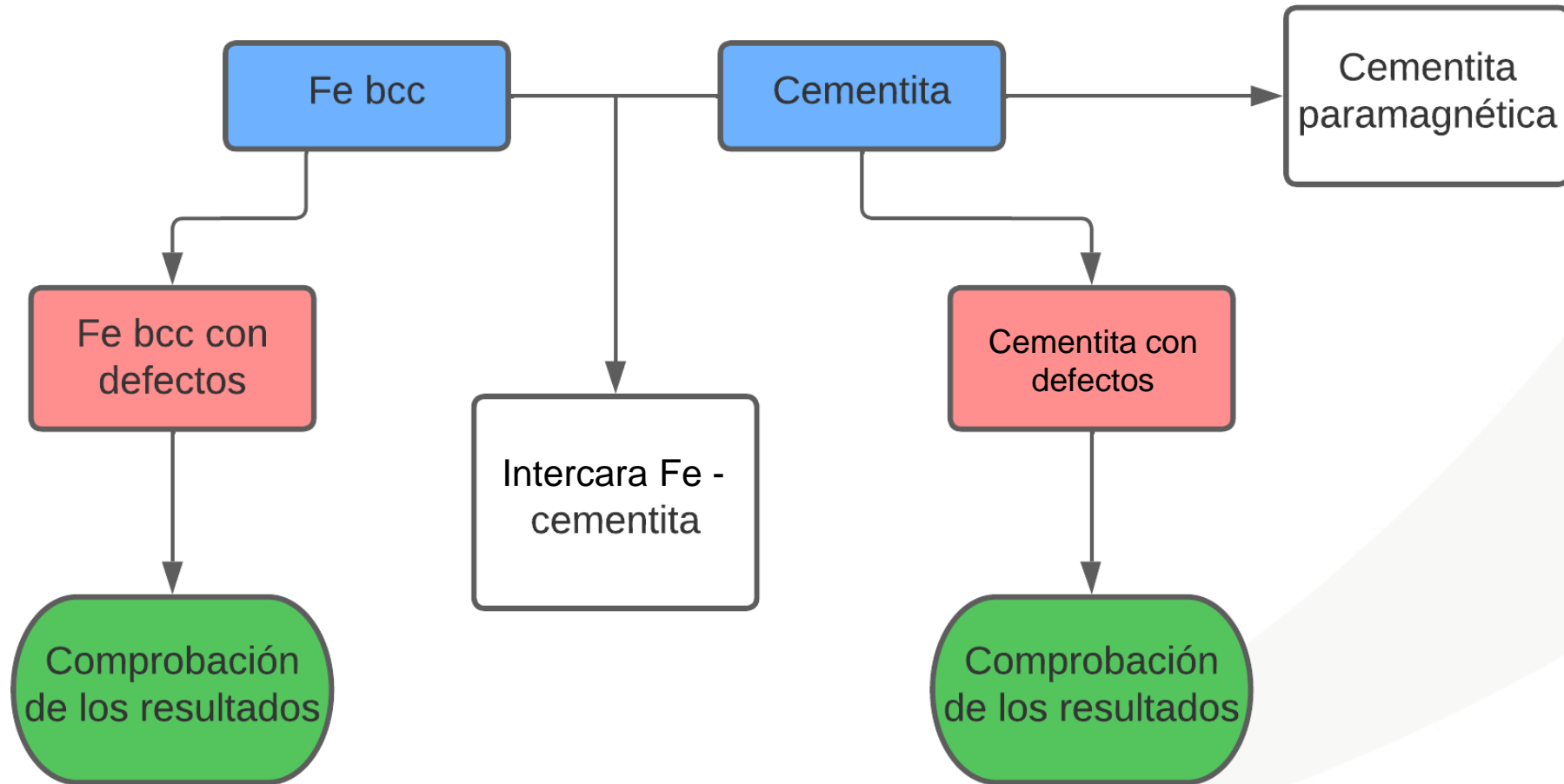
Estado actual de la Tesis



Estado actual de la Tesis

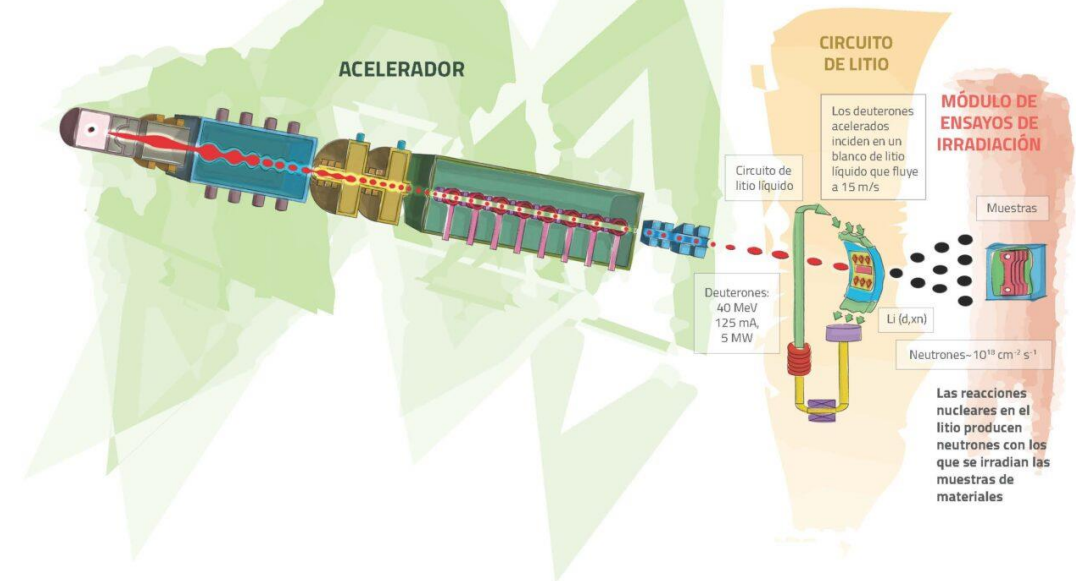


Estado actual de la Tesis



Conclusiones

- La **DFT** es una herramienta muy poderosa para estudiar la estructura electrónica y cristalina de un material
- Tiene limitaciones, pero posee una gran **capacidad predictiva**
- Junto con los métodos **Monte Carlo** podemos predecir dónde se acumularán los defectos
- Se podrá conocer cómo cambiarán **propiedades macroscópicas** antes de arrancar el acelerador de **IFMIF-DONES**



Estudio de defectos en Fe irradiado mediante técnicas *ab-initio*

Pablo Canca López
pcanca@ugr.es

Blanca Biel Ruiz (UGR) | Christophe Ortiz (CIEMAT)

THE KEY TO
THE FUTURE



Aprendizaje profundo por refuerzo para diseño generativo de elementos de seguridad en IFMIF-DONES

Antonio Manjavacas Lucas
manjavacas@ugr.es

Juan Gómez Romero (UGR) | Francisco Martín-Fuertes (CIEMAT)

THE KEY TO THE FUTURE



Seguridad y protección en IFMIF-DONES

IFMIF-DONES es una infraestructura **crítica** donde los sistemas y protocolos de **seguridad** y **protección** juegan un papel fundamental.

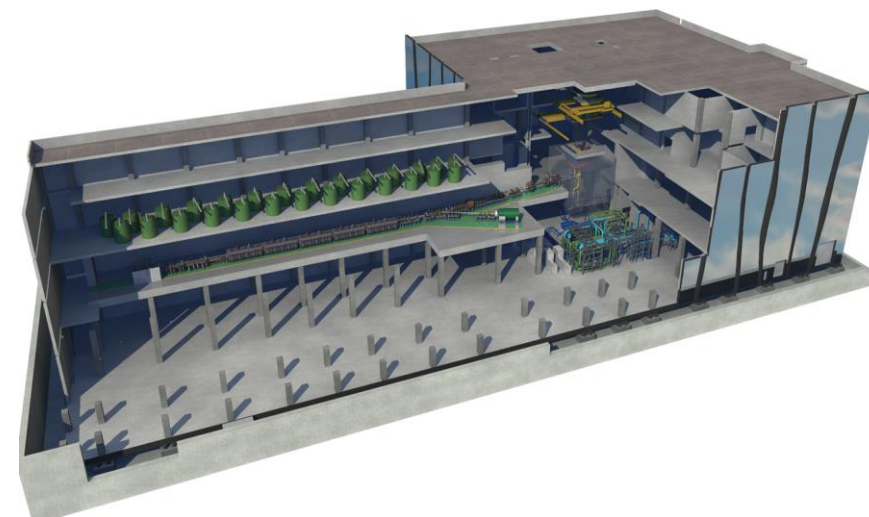
- Presencia de **tritio**, **gases activables**, dosis de **radiación**.
- Filtrado y evacuación controlada de **gases** al entorno.
- Protección del **entorno** y **personal** de la planta.

Diseño de los sistemas y protocolos de seguridad y protección

Ciemat
Centro de Investigaciones
Energéticas, Medioambientales
y Tecnológicas

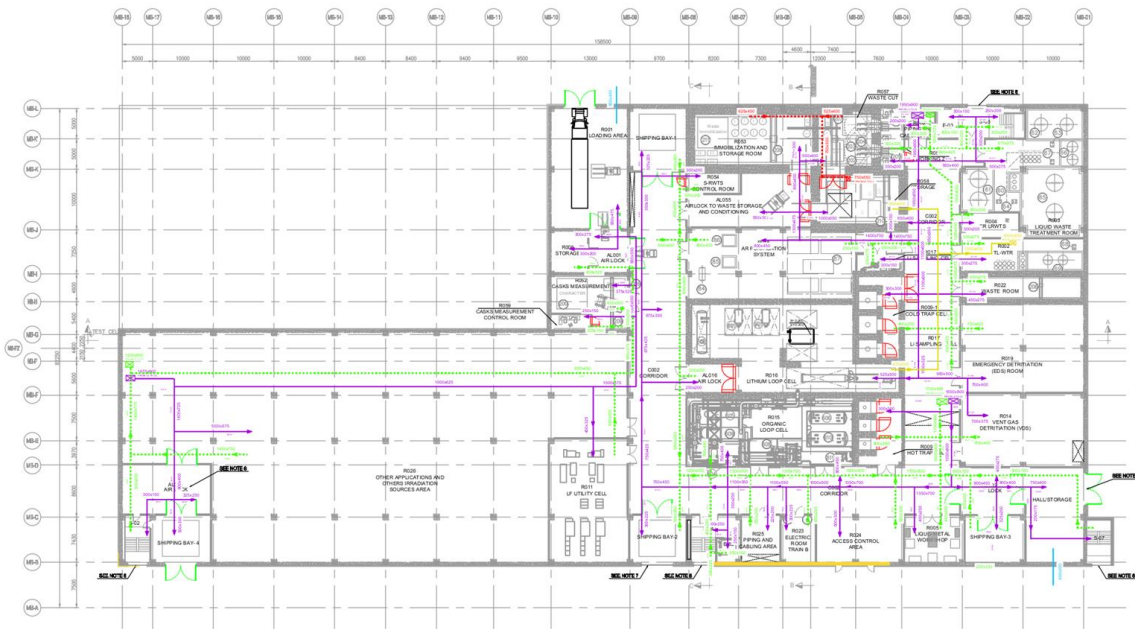
Licenciamiento

CSN 
**CONSEJO DE
SEGURIDAD NUCLEAR**



HVAC nuclear

Heating, Ventilation and Air Conditioning



Dentro de los subsistemas encargados de garantizar la seguridad de la planta, se encuentra el subsistema **HVAC nuclear**.

- Aseguramiento de **presiones** estables.
- **Confinamiento** dinámico de radionucleidos.
- Posible contribución a la dispersión de gases con riesgo **no radiológico**.

Situación actual del subsistema HVAC de IFMIF-DONES...

- Identificación de **equipamiento** y alternativas comerciales.
- **Diagramas** y **cálculos** iniciales.
- Modelos computacionales para **simulación** y análisis (MELCOR).

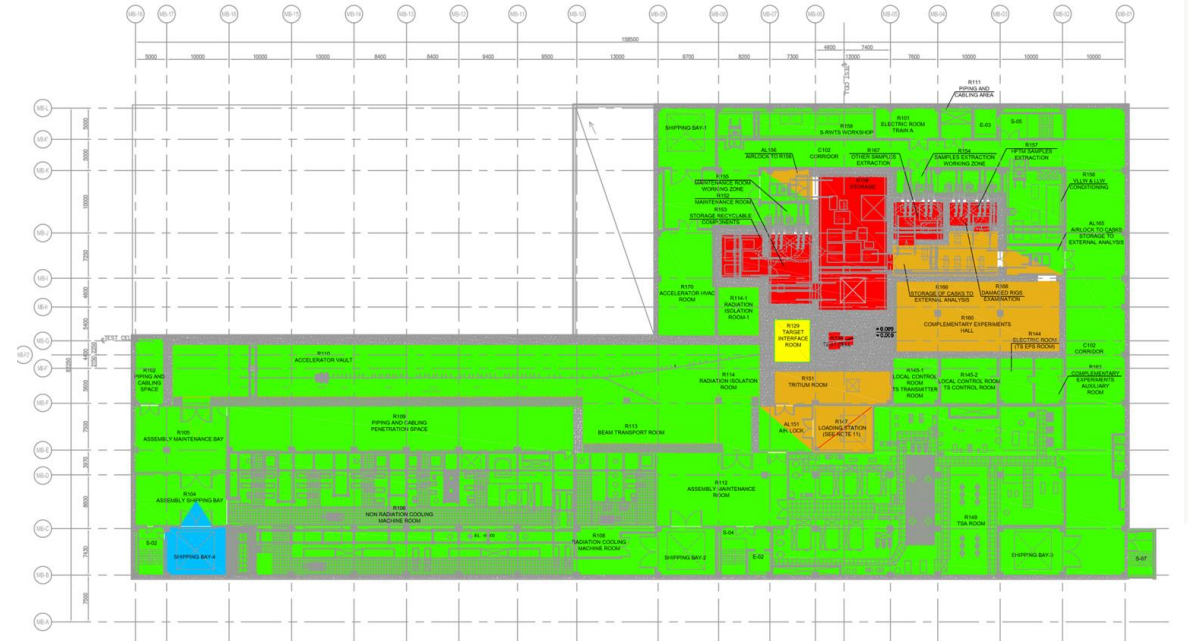
HVAC nuclear

Heating, Ventilation and Air Conditioning

Abierto a múltiples **decisiones de diseño**...

- Dimensionado y regulación de **caudales**.
- Aseguramiento de **presiones** estables según niveles de confinamiento (cascada de presiones).
- Modos de operación del subsistema (**operación, mantenimiento**).
- Etc.

NO podemos evaluar las infinitas **alternativas** de diseño HVAC en un entorno real...



Es necesario emplear **métodos de simulación**.

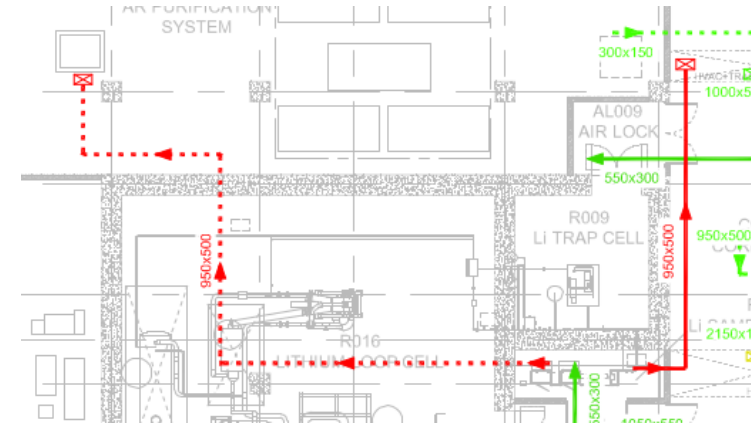
- No requieren la implementación **entorno real**, sino un modelo de simulación lo suficientemente preciso.
- La **precisión** del modelo de simulación determinará su ajuste a la realidad.

MELCOR

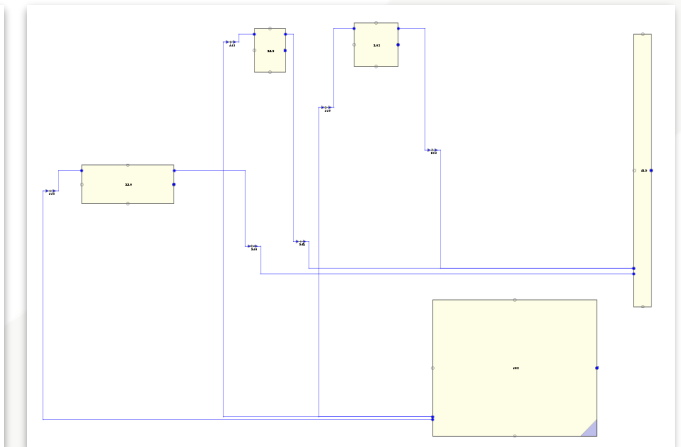
Código informático integrado de ingeniería, diseñado para modelar y simular un amplio espectro de **accidentes** severos en **reactores nucleares**.

Se está trabajando en un **modelo MELCOR** del **edificio principal de IFMIF-DONES**, destinado a evaluar y mejorar su seguridad.

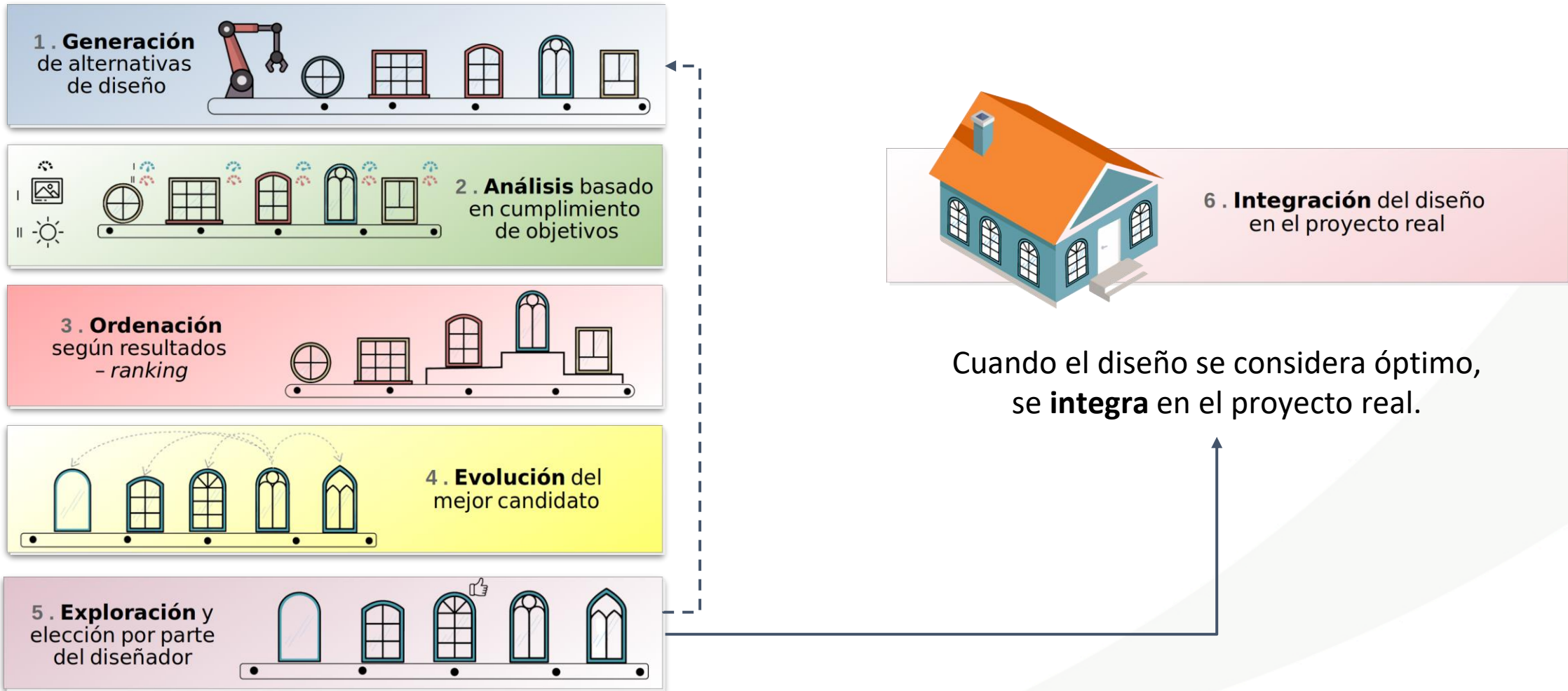
Las **decisiones de diseño HVAC** se trasladan a las decisiones de diseño sobre el modelo de simulación...



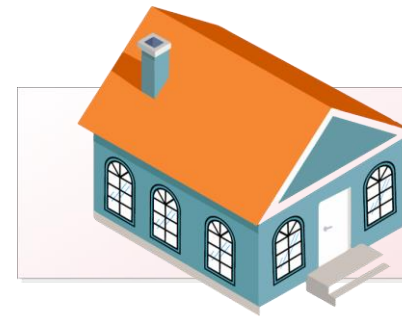
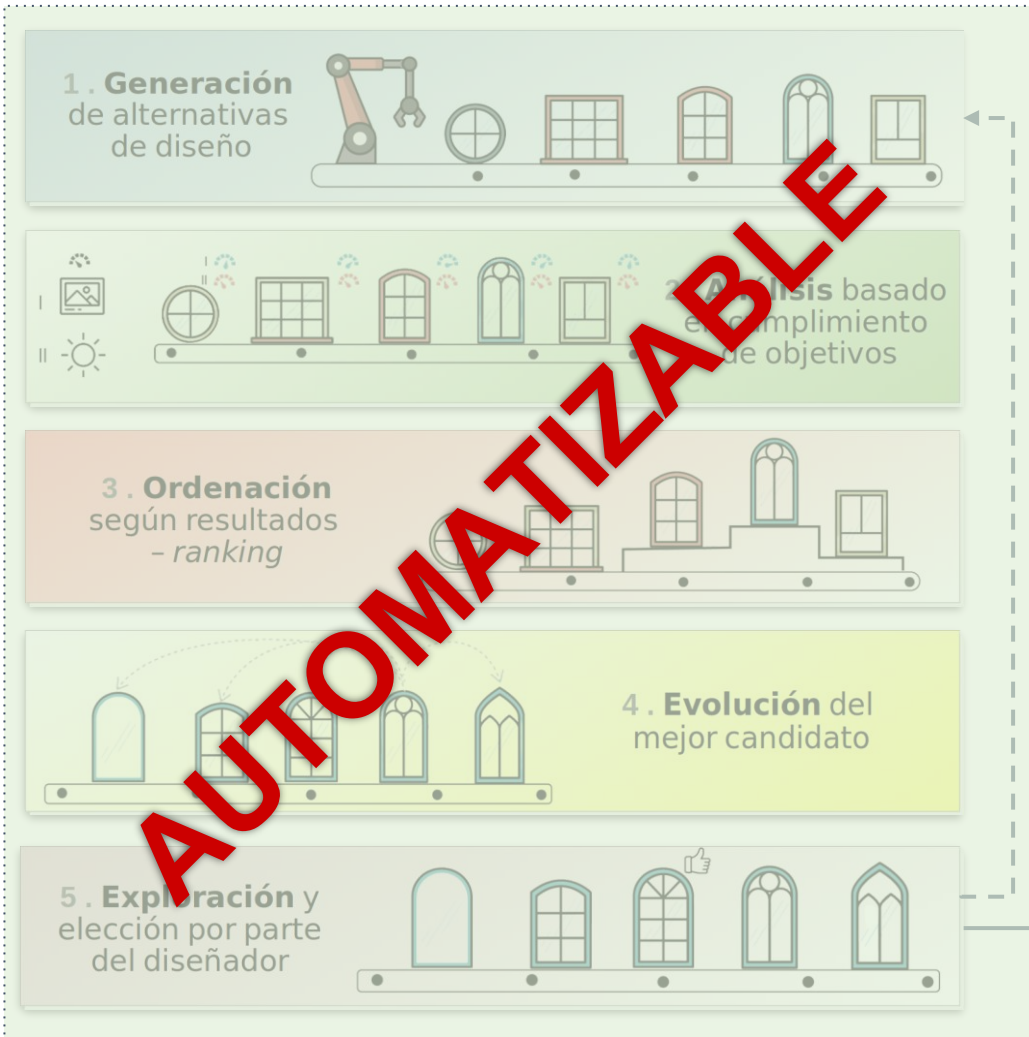
```
*-----*
*   CV016 - R016 - Lithium loop cell (C3)   *
*-----*
CV01600 R016 2 0 1          * 1=2BF / 2=1BF / 3=1F / 4=2F
CV01601 0 0                * Fog allowed
CV016A0 3
CV016A1 PVOL 101195.0      * 101325Pa - 130Pa
CV016A2 TATM 290.95 RHUM 0.0 * 17.8 deg. C; 0% rel. humidity
CV016A3 MLFR.8 0.99        * Filled with Ar -> 99.99%
CV016A4 MLFR.5 0.0021      * Initial O2 -> 21% of 0.01%
CV016A5 MLFR.4 0.0079      * Initial N2 -> 79% of 0.01%
***
***          ALTITUDE/VOLUME Table
***
CV016B1 0.0      0.0
CV016B2 7.5 2856.885
***
```



Diseño generativo



Diseño generativo



6. **Integración** del diseño en el proyecto real

Cuando el diseño se considera óptimo, se **integra** en el proyecto real.

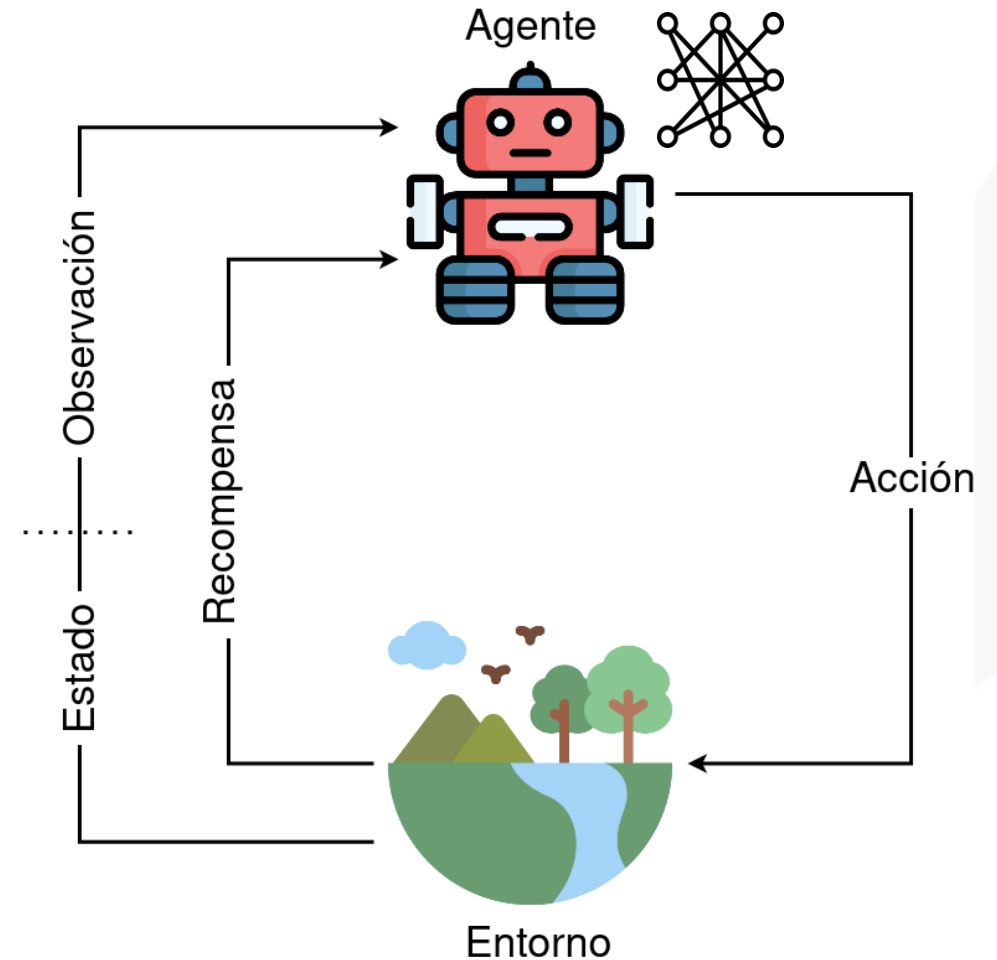
Aprendizaje Profundo por Refuerzo

Método de aprendizaje computacional basado en la interacción de un **agente** con su **entorno**.

Aprendizaje iterativo, basado en prueba y error, donde el agente recibe **recompensas** positivas si sus **acciones** le conducen a **estados** deseables.

Objetivo: descubrir qué **acciones** conducen a la maximización de la **recompensa** (aprendizaje de una **política** de comportamiento óptima).

Las **redes neuronales profundas** (deep learning) se emplean como herramienta de aprendizaje (deep reinforcement learning).

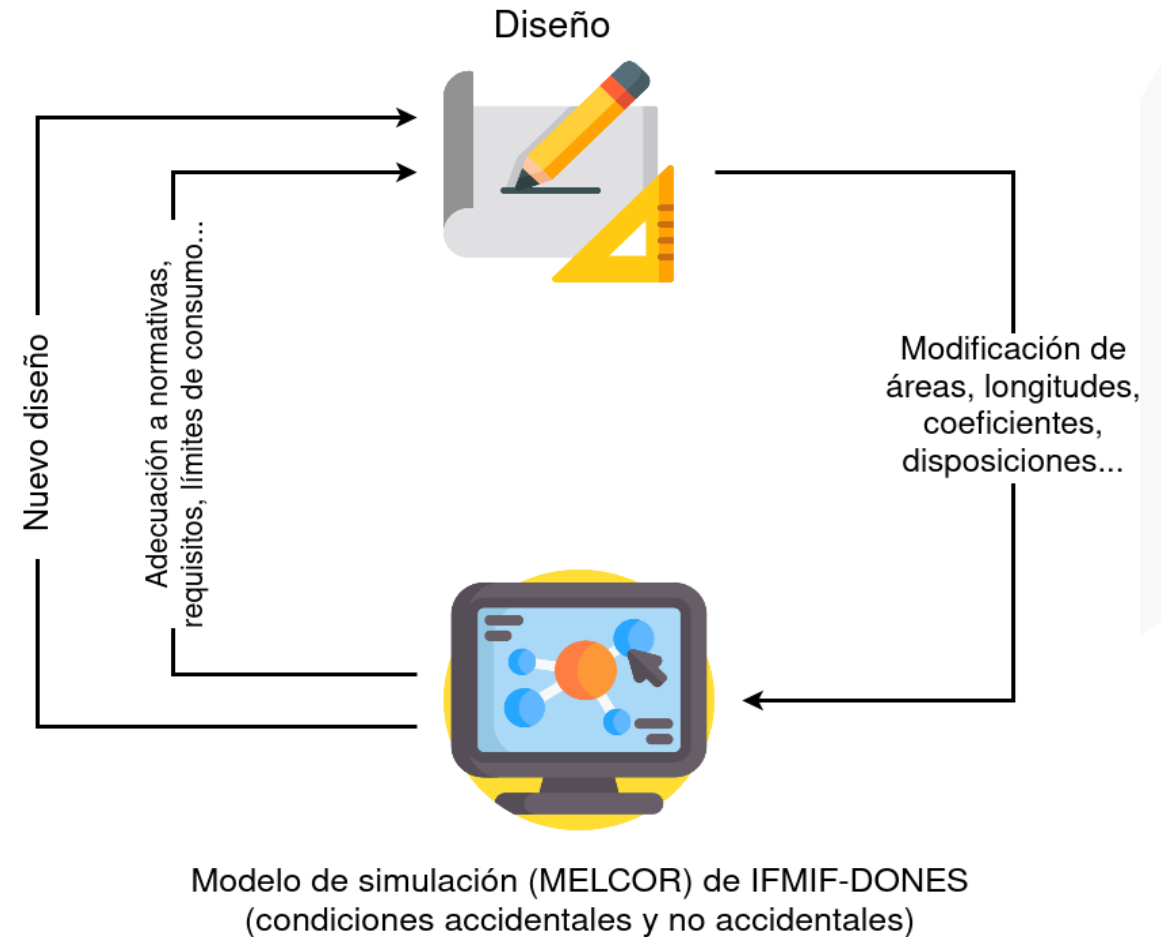


Aprendizaje por refuerzo + diseño generativo en IFMIF-DONES

Es posible automatizar el proceso de **diseño generativo** empleando **aprendizaje profundo por refuerzo**.

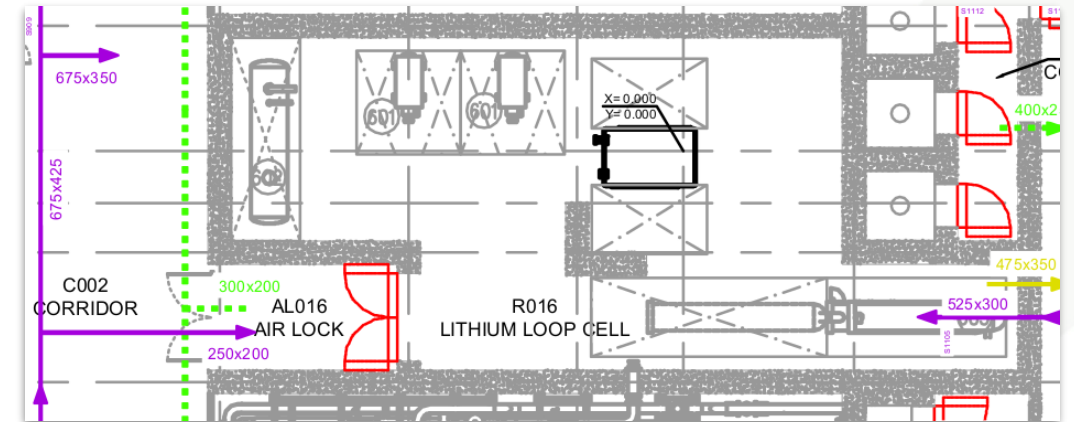
Necesario definir previamente:

- Qué define una alternativa de diseño (**espacio de estados**)
 - *Ej. caudales de aire/argón actuales*
- Cómo se generan nuevas alternativas de diseño (**espacio de acciones**).
 - *Ej. regulación de caudales*
- Cómo se evalúa una alternativa de diseño (**función de recompensa**)
 - *Ej. aseguramiento de presiones según ISO*
 - *Ej. reducción del Ar vertido por chimenea*



Estado actual

- Desarrollo de submodelo **MELCOR** de:
 - **R016** (LLC)
 - **C002** (pasillo inferior)
 - **AL016** (airlock)
- Aseguramiento de presiones estables conforme a **ISO 17873** en el modelo de simulación.
- Modelado y validación de fugas conforme a **ISO 10648-2**.
- Modelado del **SGS-Ar** de la LLC: **caudales** y opciones de **recirculación**, funciones de **purificación** de la atmósfera, requisitos de **inertización...**
- Identificación de variables a optimizar, parámetros de operación, no linealidad...



Futuras mejoras

Modelos sustitutos (*surrogate/data-driven models*)

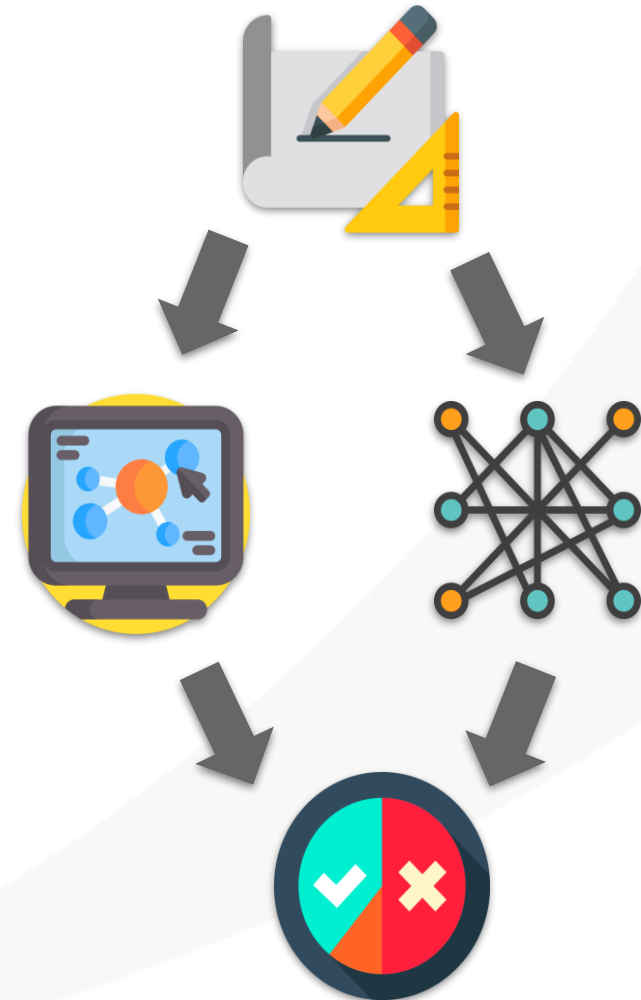


- Modelo que aprende a partir de las salidas proporcionadas por MELCOR.
- Estimación rápida de salidas a costa de perder precisión.
- Algoritmos de aprendizaje automático basados en física (PINNs).

Simulación en la **nube**



- Ejecución de numerosas simulaciones en paralelo.
- Útil para acelerar el proceso de diseño generativo (simulación).



Aprendizaje profundo por refuerzo para diseño generativo de elementos de seguridad en IFMIF-DONES

Antonio Manjavacas Lucas
manjavacas@ugr.es

Juan Gómez Romero (UGR) | Francisco Martín-Fuertes (CIEMAT)

THE KEY TO THE FUTURE



Producción de isótopos en DONES: análisis exhaustivo de diferentes isótopos y diseño preliminar de su producción industrial.

M.Elena López Melero (PhD)
melopez@ugr.es

Javier Praena Rodríguez (UGR) | Eduardo Romero Sanz (CIEMAT)

THE KEY TO THE FUTURE



Actividades realizadas:

1. Estudio de producción de RI con neutrones: $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$
2. Estudio de producción de RI con deuterones: ^{177}Lu
3. Estancia en el CIEMAT: Análisis del proceso de marcaje de animales con ^{177}Lu . (28/05/2022 – 08/06/2022)
4. Estancia en el CNRS: Experimento de producción de RI con deuterones: ^{165}Er y ^{44}Ti . (02/10/2022 – 27/10/2022)

1. Producción de $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$:

- Entre el **80-85%** de las pruebas de diagnóstico con imagen (SPECT) son realizadas con el radioisótopo $^{99\text{m}}\text{Tc}$.
- Crisis mundial en el 2009-2010.

Organ	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ radiopharmaceuticals
Brain	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -ECD
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -HMPAO
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MAA
Bone and bone marrow	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -HMPAO (WBC)
Heart	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -Pyrophosphate
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -Tetrofosmin/sestaMIBI (exercise)
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -Tetrofosmin / sestaMIBI (resting)
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -RBC
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -DMSA
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -DTPA (IV)
Liver	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MAG3
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -Sulfur/albumin colloid (IV)
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -Sulfur/albumin colloid (oral)
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -IDA
Lung	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -DTPA (Inhalation)
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -Technegas
Spleen	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -RBCs
Stomach	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -Pertechnetate
Thyroid	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -Pertechnetate
Parathyroid	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MIBI
Cancer cells identification	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -SestaMIBI


1. Producción de $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$:

- Entre el 80-85% de las pruebas de diagnóstico con imagen (SPECT) son realizadas con el radioisótopo $^{99\text{m}}\text{Tc}$.
- Crisis mundial en el 2009-2010.

The image shows a screenshot of a news article from the journal Nature, dated 2009. The article is titled "Europe's isotope shortage will continue into 2009" and is written by Paula Gould. The text discusses a Europe-wide shortage of medical isotopes that will last for at least three months while a Dutch nuclear reactor is repaired. It mentions that governments and regulators are bending their rules concerning the use and transport of radioactive materials to allow patients to undergo diagnostic tests. A photograph of the High Flux Reactor in Petten, Netherlands, is included, along with a caption stating it is facing an extended shutdown. The article also includes sections for "Stories by subject" (Health and medicine, Technology, Physics), "Stories by keywords" (Europe, Isotopes, Medical, Shortage, Radioisotope, Medical imaging, Hospital, Reactor closure, Petten), and "This article elsewhere" with links to various social media and news aggregation sites.

1. Producción de $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$:

- Entre el 80-85% de las pruebas de diagnóstico con imagen (SPECT) son realizadas con el radioisótopo $^{99\text{m}}\text{Tc}$.
- Crisis mundial en el 2009-2010.



**NUCLEAR
MEDICINE
EUROPE**
the industry association

**COMMUNICATION FROM NMEU TO EU OBSERVATORY FOR THE SUPPLY OF MEDICAL
RADIOISOTOPES**

**Global Mo-99 and I-131 Production Impacted by Delay of Two Reactors Restarting from Scheduled
Maintenance**

Brussels, 20 October 2022

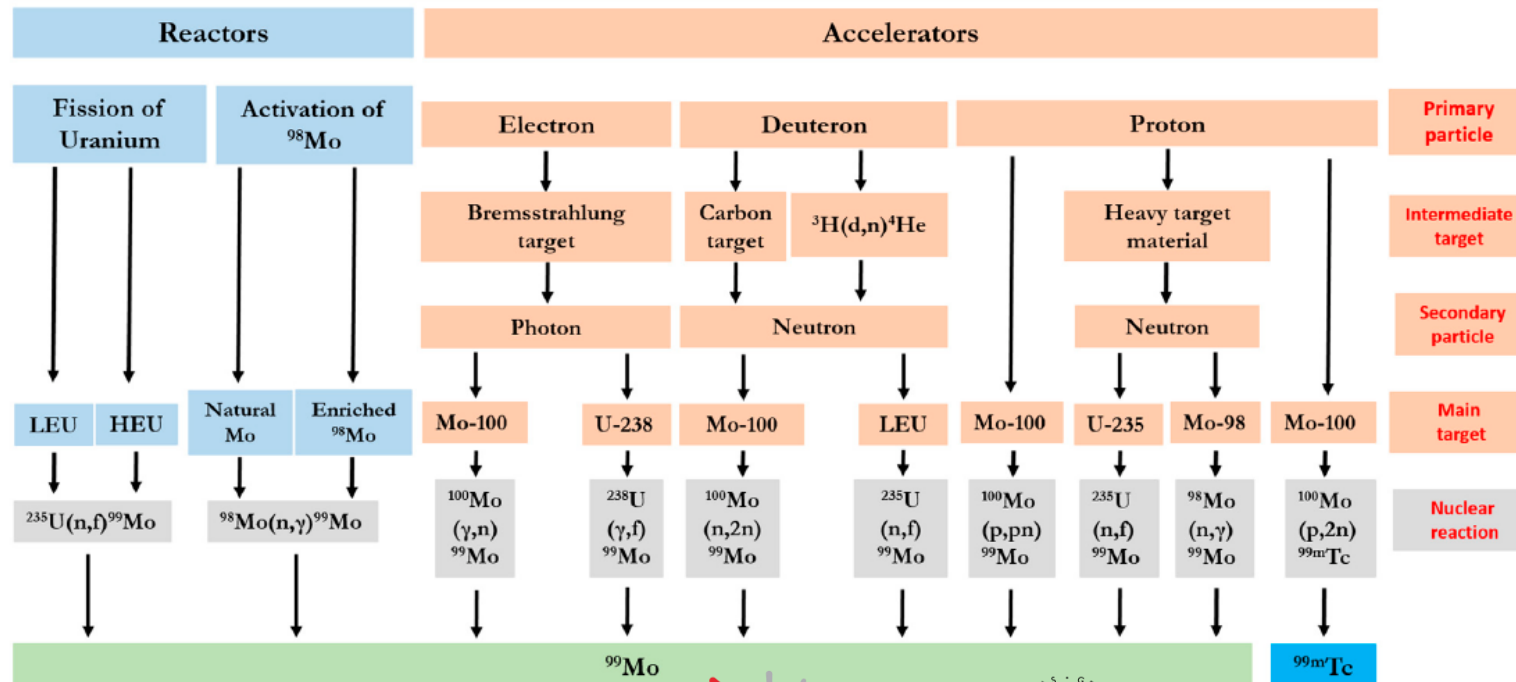
Nuclear Medicine Europe advises the nuclear medicine community that periodic Mo-99 and I-131 supply disruptions are being experienced at the current time and are likely to increase through the first week of November due to delays of two research reactors which irradiate targets for producing these radioisotopes in returning to service from planned outages.



The screenshot shows a news article from the journal Nature, dated 2009. The article title is "Europe's isotope shortage will continue into 2009" by Paula Gould. The text discusses a shortage of medical isotopes in Europe, specifically mentioning the High Flux Reactor in Petten, Netherlands, which has been out of action since August. The article notes that governments and regulators are bending their rules to allow the use and transport of radioactive materials to help patients during the supply crisis. A photograph of the reactor is included, with a caption stating it is facing an extended shutdown.

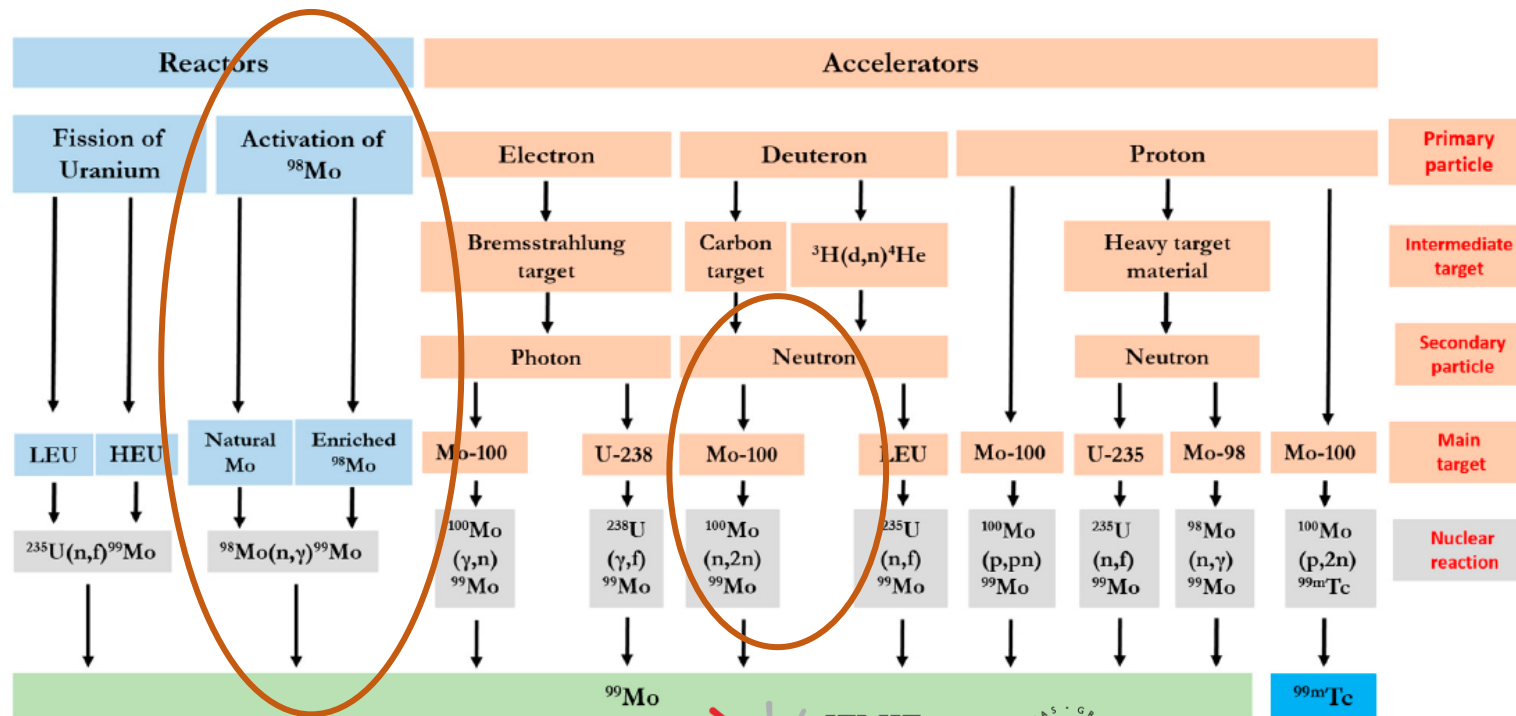
1. Producción de $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$:

- Entre el **80-85%** de las pruebas de diagnóstico con imagen (SPECT) son realizadas con el radioisótopo $^{99\text{m}}\text{Tc}$.
- Crisis mundial en el 2009-2010.
- Rutas de producción de ^{99}Mo y $^{99\text{m}}\text{Tc}$:



1. Producción de $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$:

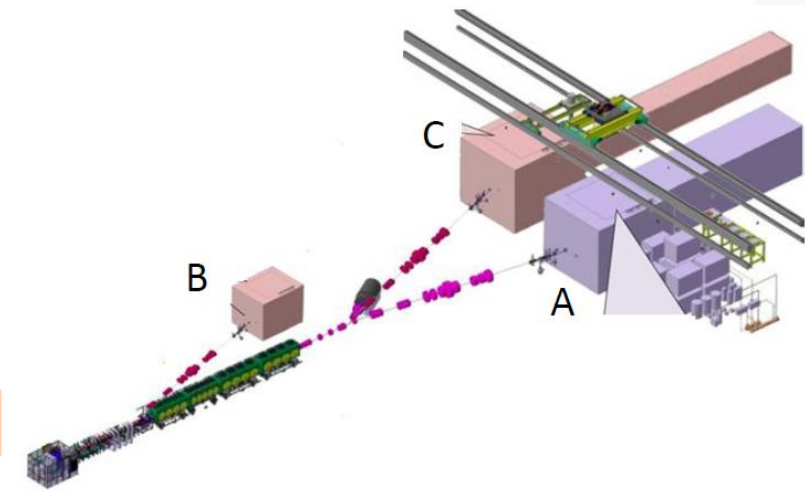
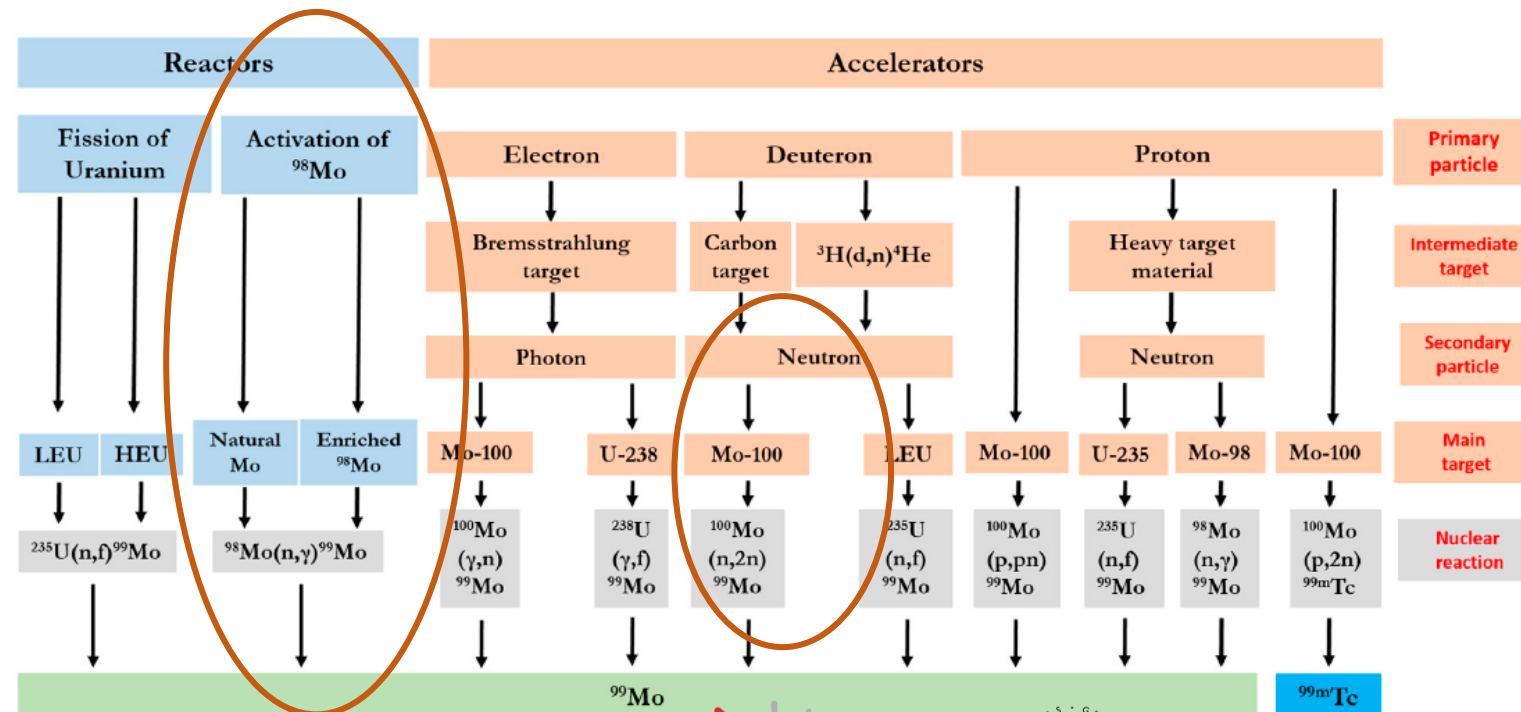
- Entre el 80-85% de las pruebas de diagnóstico con imagen (SPECT) son realizadas con el radioisótopo $^{99\text{m}}\text{Tc}$.
- Crisis mundial en el 2009-2010.
- Rutas de producción de ^{99}Mo y $^{99\text{m}}\text{Tc}$:



A. Producción de radioisótopos con neutrones

1. Producción de $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$:

- Entre el 80-85% de las pruebas de diagnóstico con imagen (SPECT) son realizadas con el radioisótopo $^{99\text{m}}\text{Tc}$.
- Crisis mundial en el 2009-2010.
- Rutas de producción de ^{99}Mo y $^{99\text{m}}\text{Tc}$:

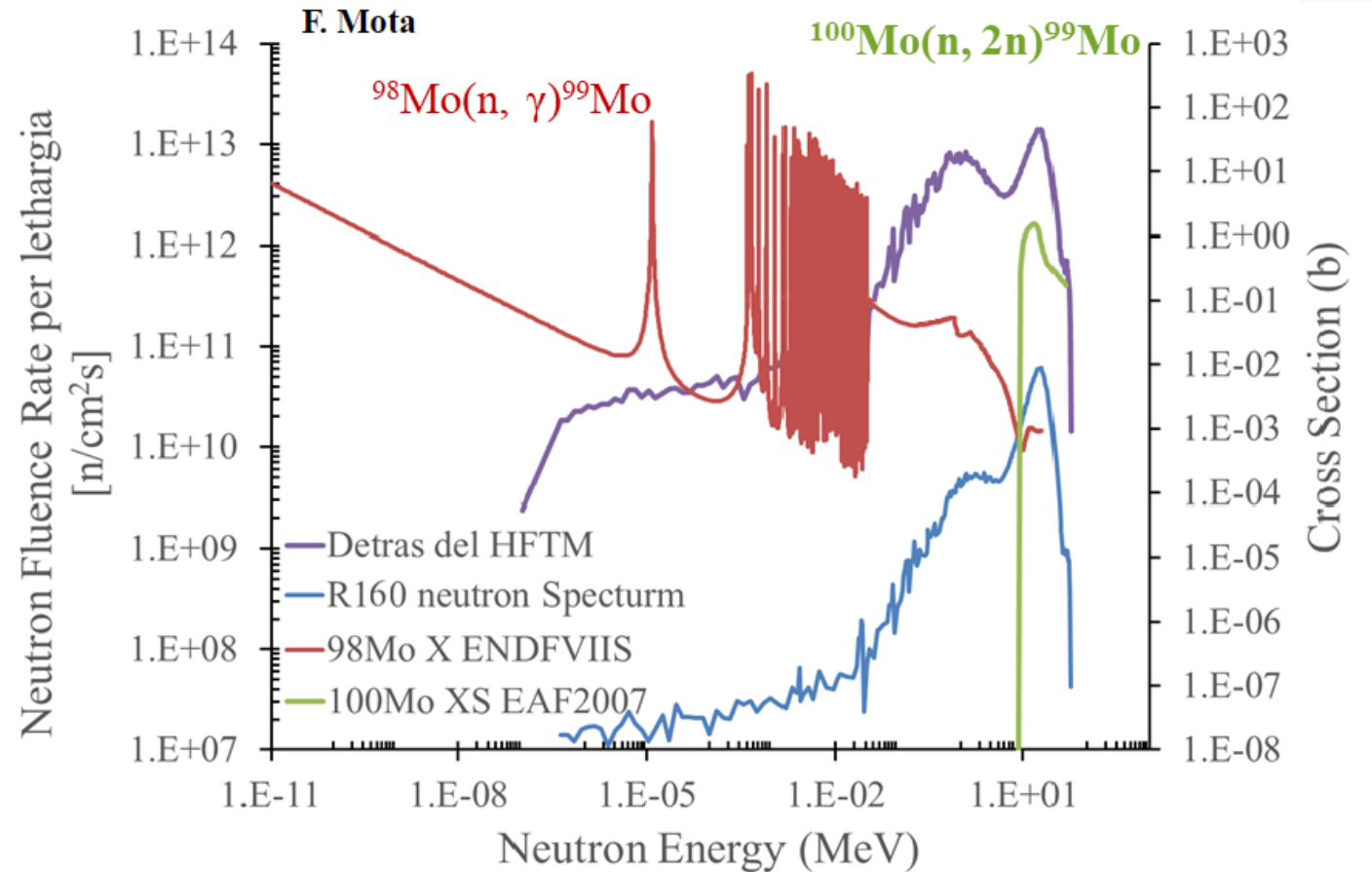
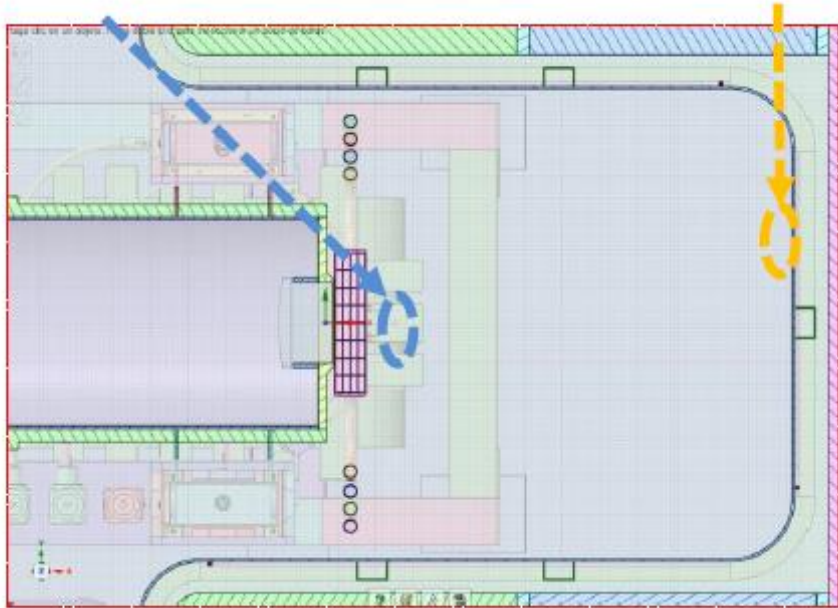


A. Producción de radioisótopos con neutrones

1. Producción de $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$:

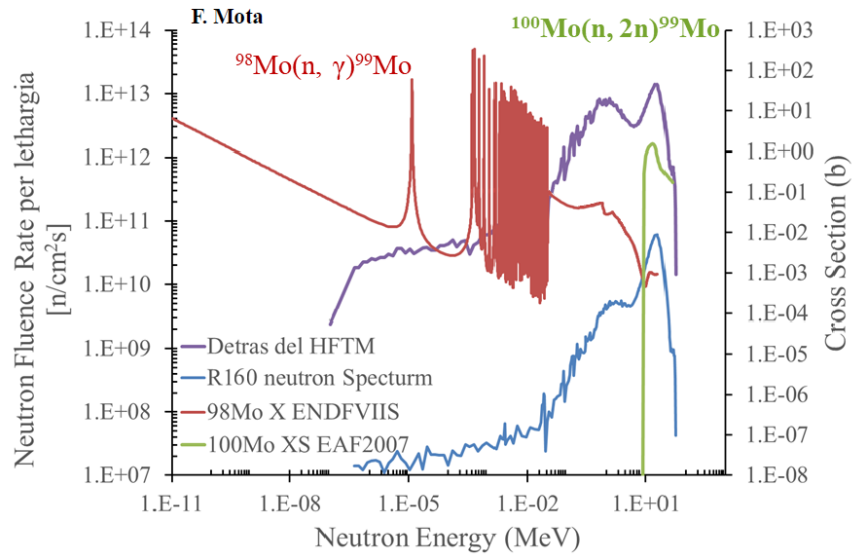
Detrás del HFTM

A la entrada del
conducto de R160



Imágenes y gráficas cedidas por F. Mota

1. Producción de $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$:

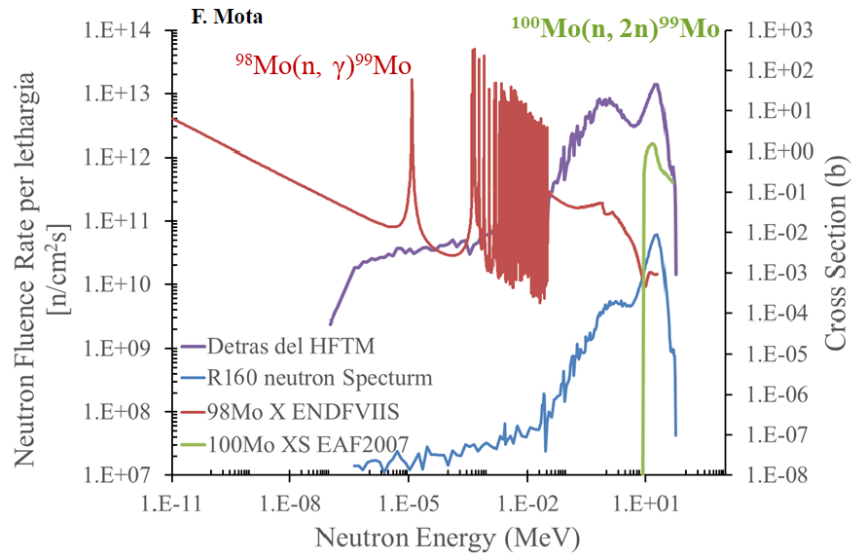


$\Phi = 10$ mm, $e = 0.5$ mm, 1.06 g of $^{100}\text{MoO}_3$ (enriquecido 95%)

$\Phi = 20$ mm, $e = 1,7$ mm, 20 g of $^{\text{nat}}\text{MoO}_3$ ó $^{98}\text{MoO}_3$

7 días	Masa (g)	SA(GBq/g Mo)			
		HFTM	R160	Reactor – JRR (Japan)	LINAC – (Japan)
$^{\text{nat}}\text{MoO}_3$	20	6.7	0.70	14.8	-
$^{98}\text{MoO}_3$	20	3.9	0.80	-	-
$^{100}\text{MoO}_3$	1.6	56	2.24	-	0.04

1. Producción de $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$:



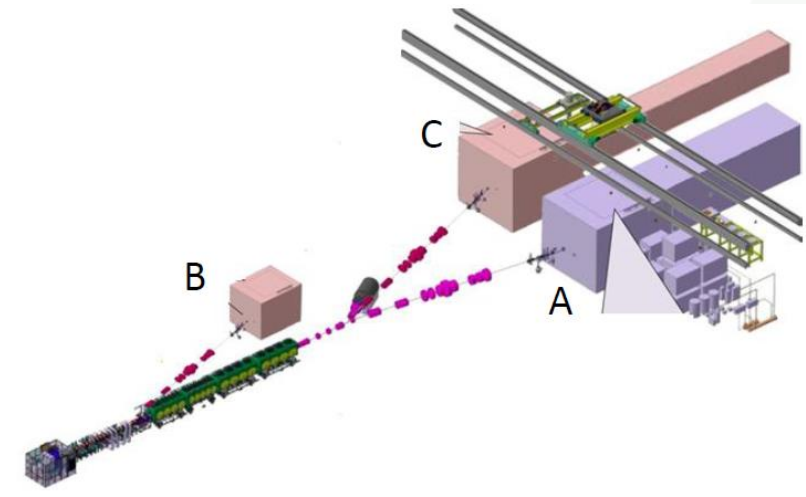
$\Phi = 10$ mm, $e = 0.5$ mm, 1.06 g of $^{100}\text{MoO}_3$ (enriquecido 95%)

$\Phi = 20$ mm, $e = 1,7$ mm, 20 g of $^{\text{nat}}\text{MoO}_3$ ó $^{98}\text{MoO}_3$

7 días	Masa (g)	SA(GBq/g Mo)			
		HFTM	R160	Reactor – JRR (Japan)	LINAC – (Japan)
$^{\text{nat}}\text{MoO}_3$	20	6.7	0.70	14.8	-
$^{98}\text{MoO}_3$	20	3.9	0.80	-	-
$^{100}\text{MoO}_3$	1.6	56	2.24	-	0.04

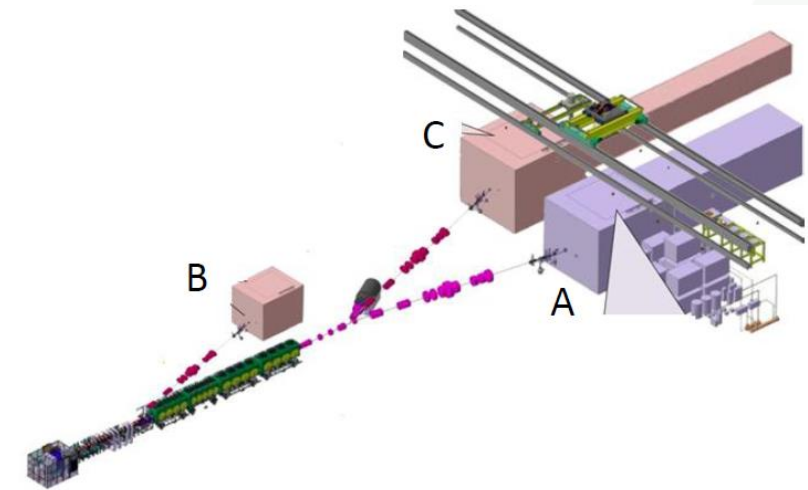
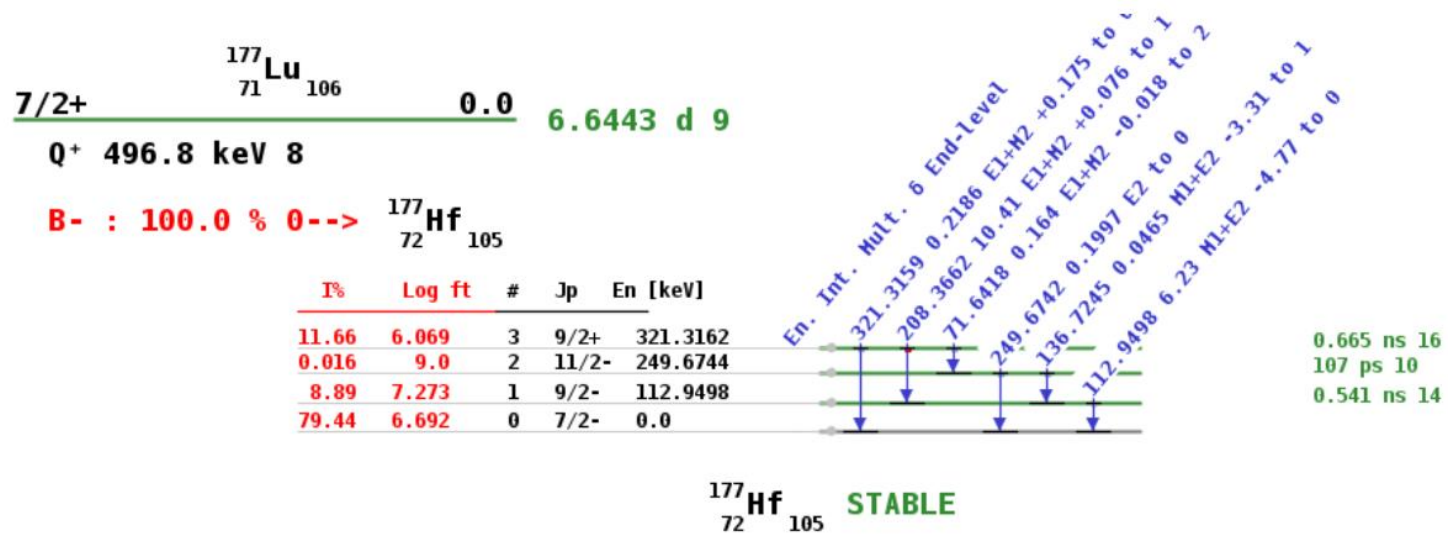
En DONES la producción de $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ debería ser con muestras de MoO_3 con ^{100}Mo enriquecido al 95%.

2. Producción de ^{177}Lu :



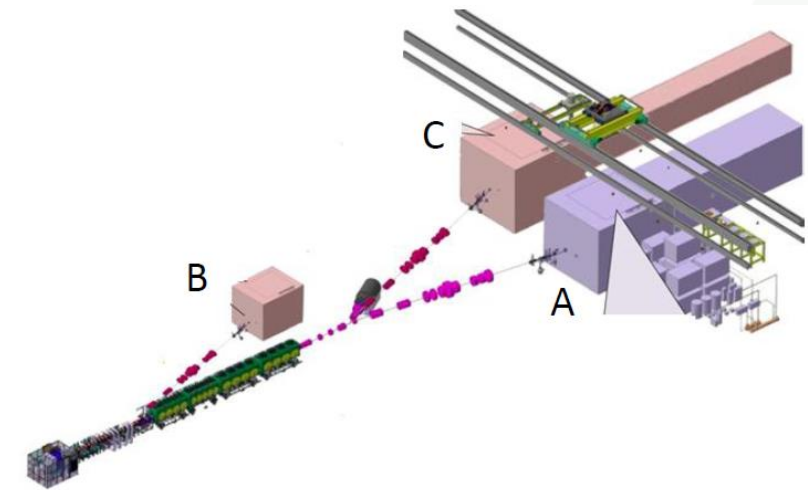
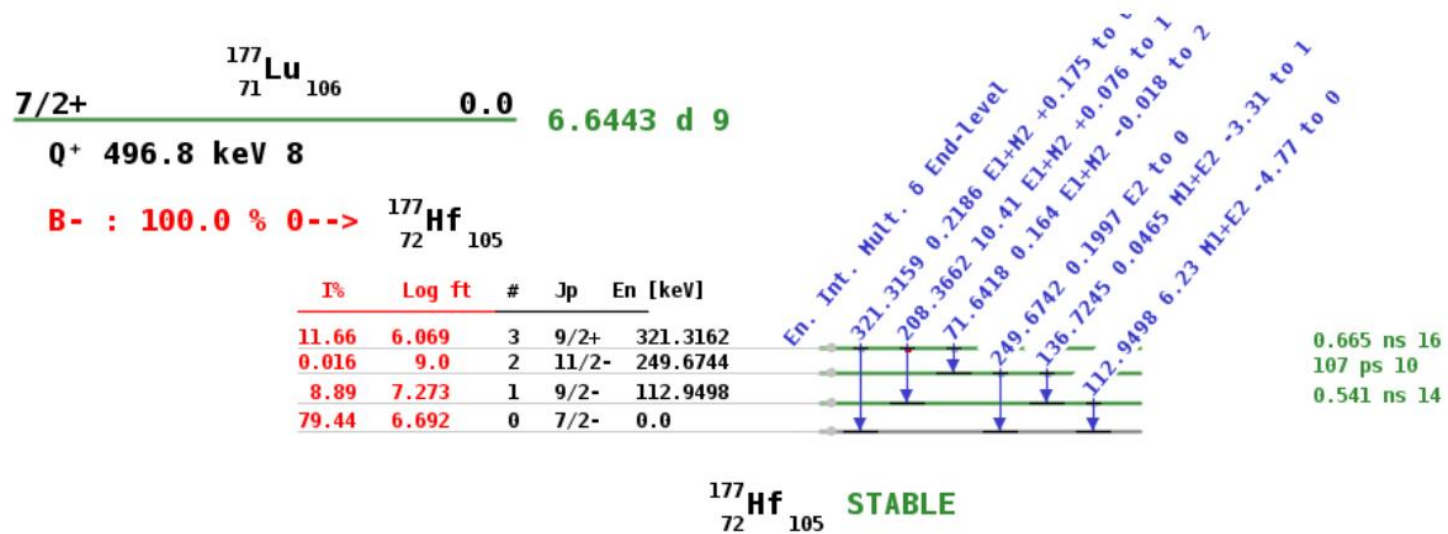
C. Producción de radioisótopos con deuterones; $\sim 1 \text{ mA}$, 40 MeV

2. Producción de ^{177}Lu :



C. Producción de radioisótopos con deuterones; ~ 1 mA, 40 MeV

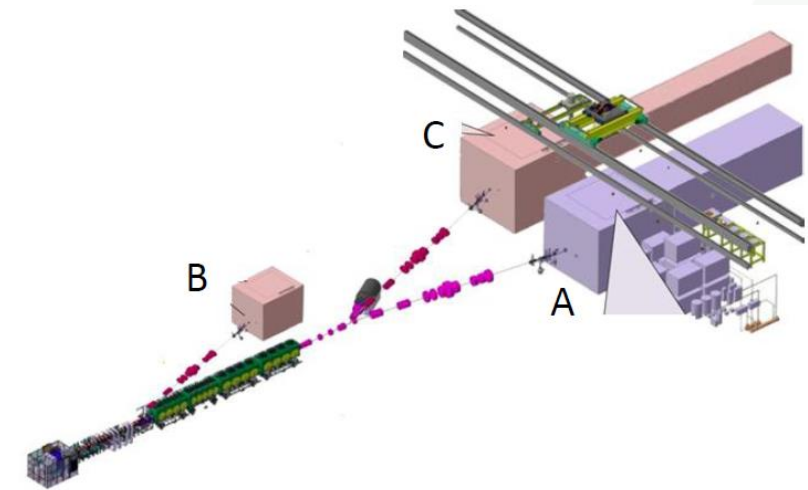
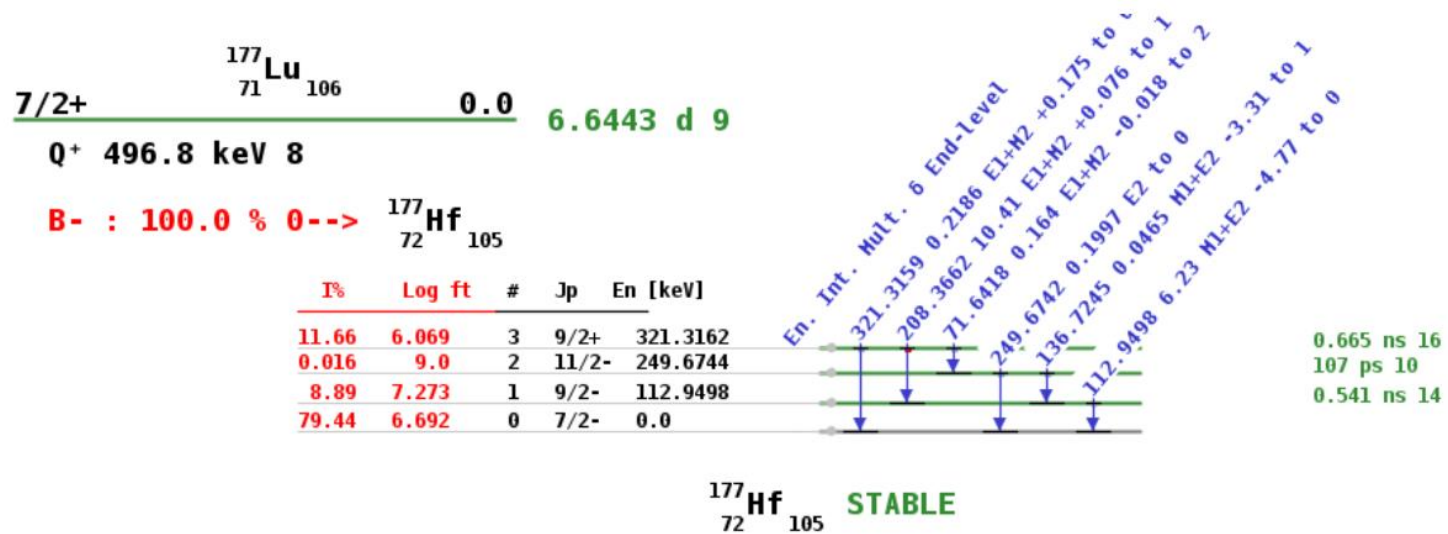
2. Producción de ^{177}Lu :



Beta decay : 40-150 KeV

C. Producción de radioisótopos con deuterones; ~ 1 mA, 40 MeV

2. Producción de ^{177}Lu :

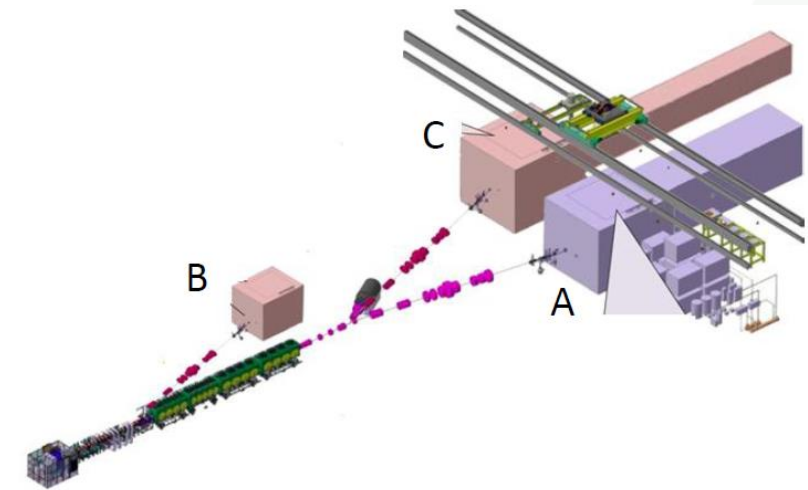
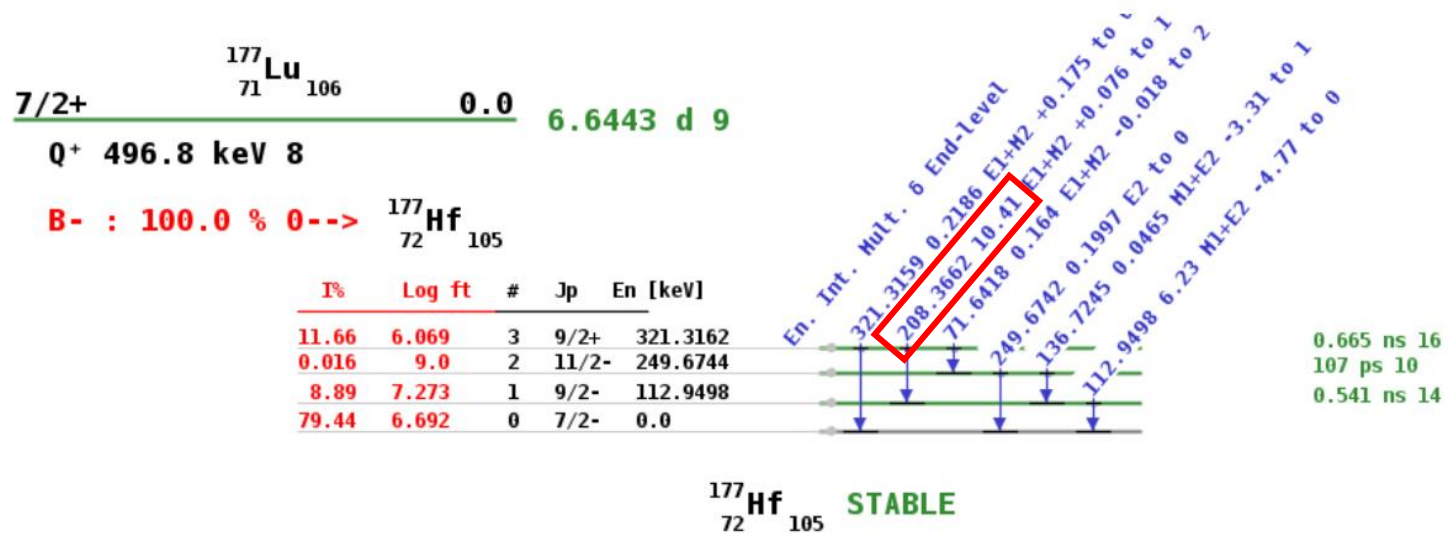


Beta decay : 40-150 KeV

✓ Terapia con electrones

C. Producción de radioisótopos con deuterones; ~ 1 mA, 40 MeV

2. Producción de ^{177}Lu :



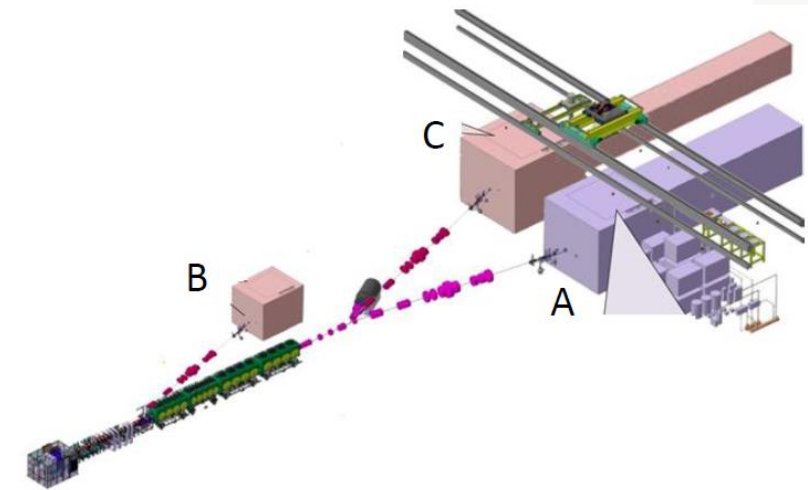
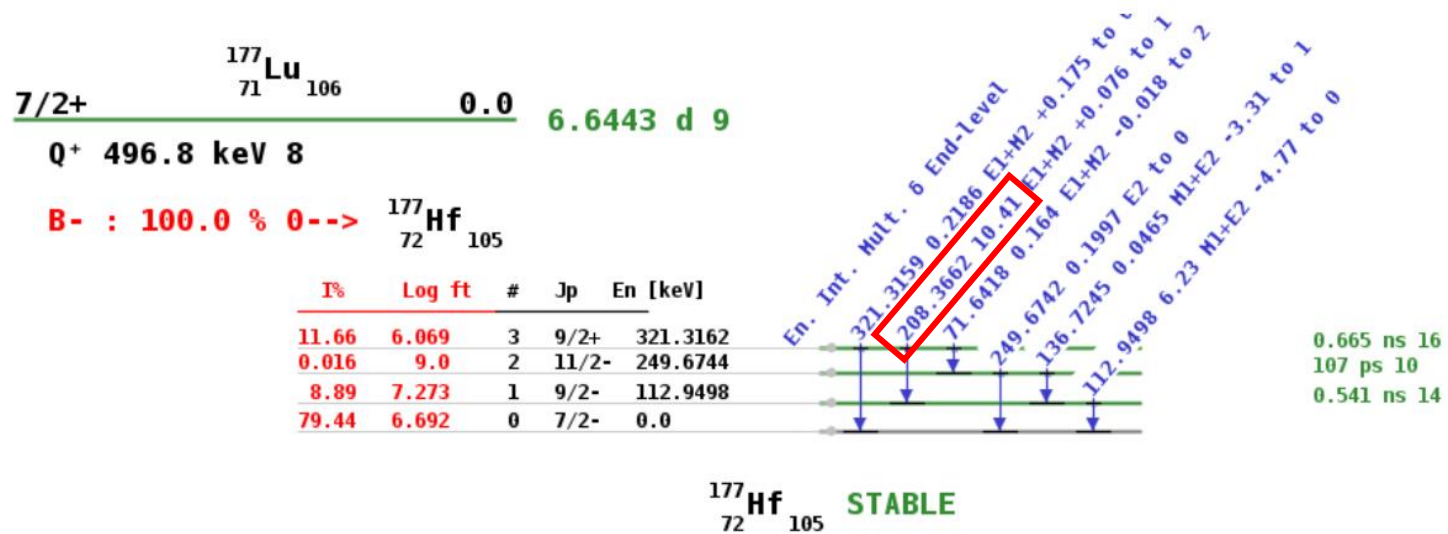
Beta decay : 40-150 KeV

Gammas : 208 keV (10.41% yield)

✓ Terapia con electrones

C. Producción de radioisótopos con deuterones; ~ 1 mA, 40 MeV

2. Producción de ^{177}Lu :



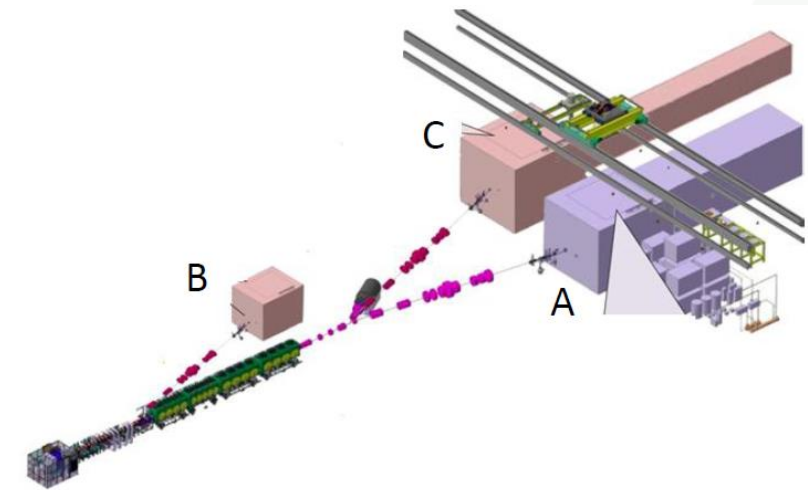
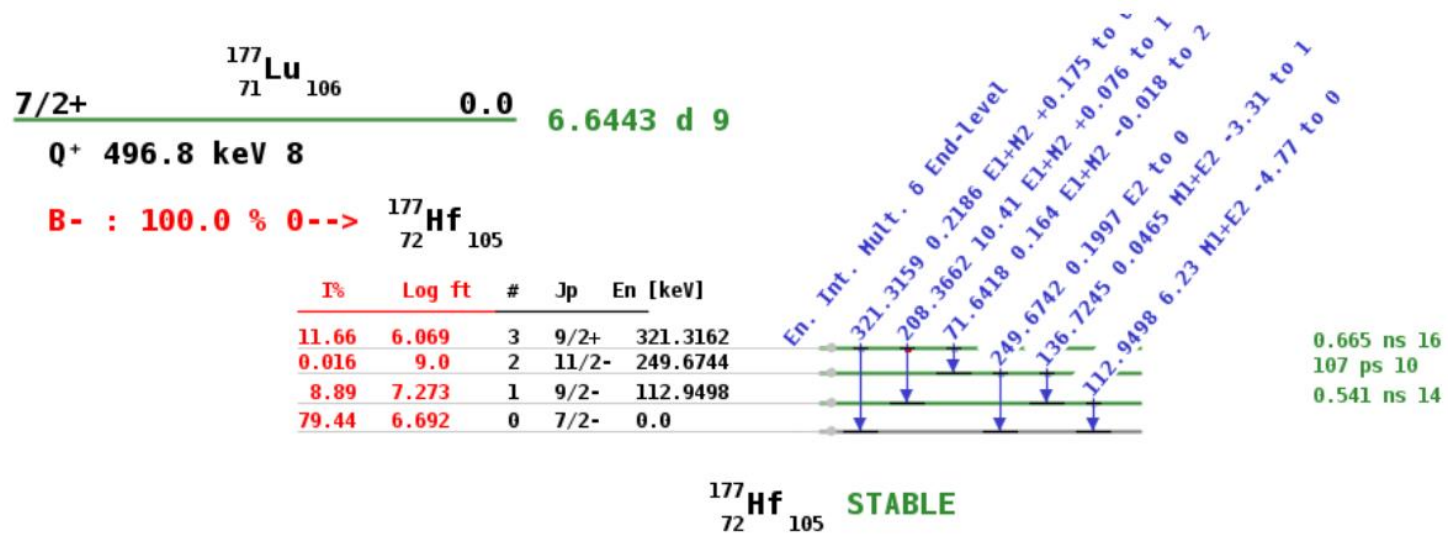
Beta decay : 40-150 KeV

Gammas : 208 keV (10.41% yield)

- ✓ Terapia con electrones
- ✓ Imagen SPECT con fotones

C. Producción de radioisótopos con deuterones; $\sim 1 \text{ mA}$, 40 MeV

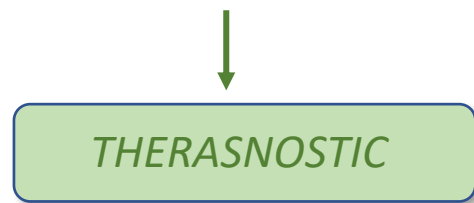
2. Producción de ^{177}Lu :



Beta decay : 40-150 KeV

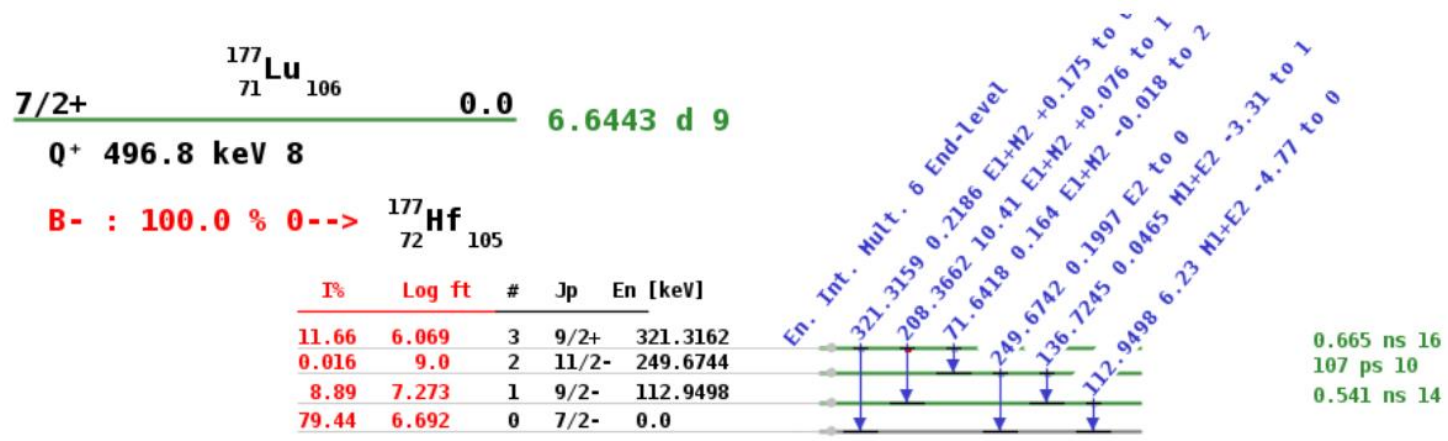
Gammas : 208 keV (10.41% yield)

- ✓ Terapia con electrones
- ✓ Imagen SPECT con fotones



C. Producción de radioisótopos con deuterones; ~ 1 mA, 40 MeV

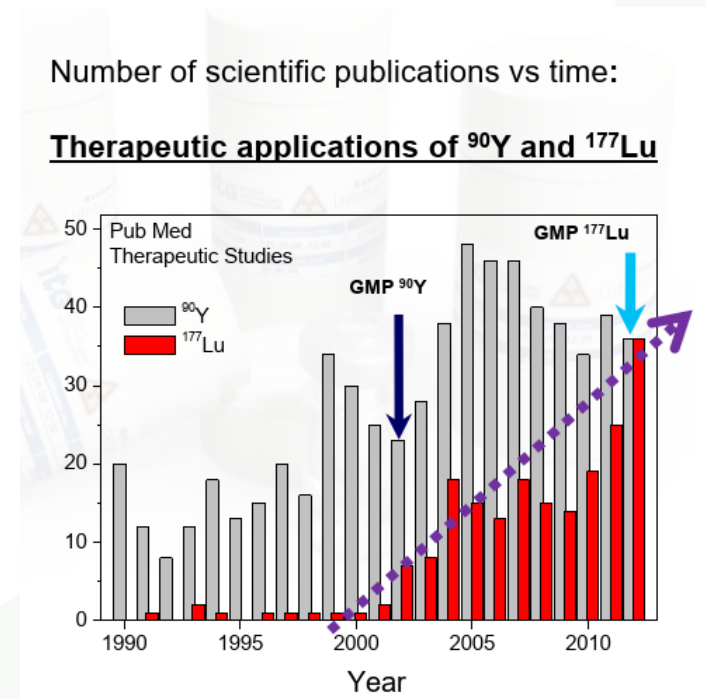
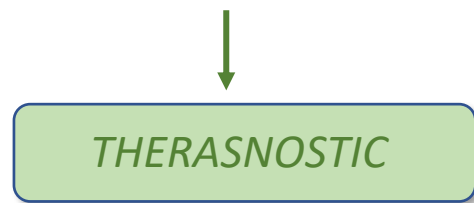
2. Producción de ^{177}Lu :



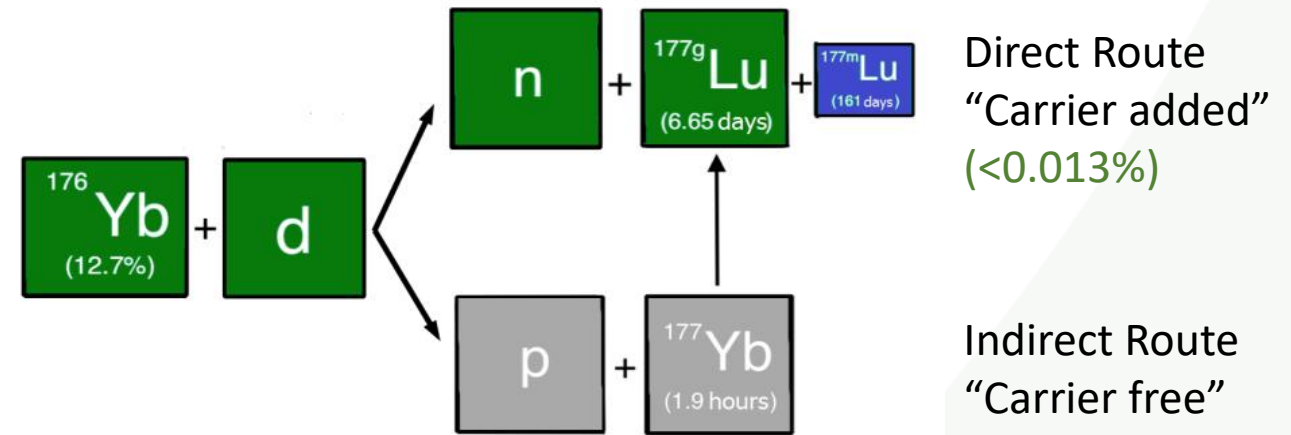
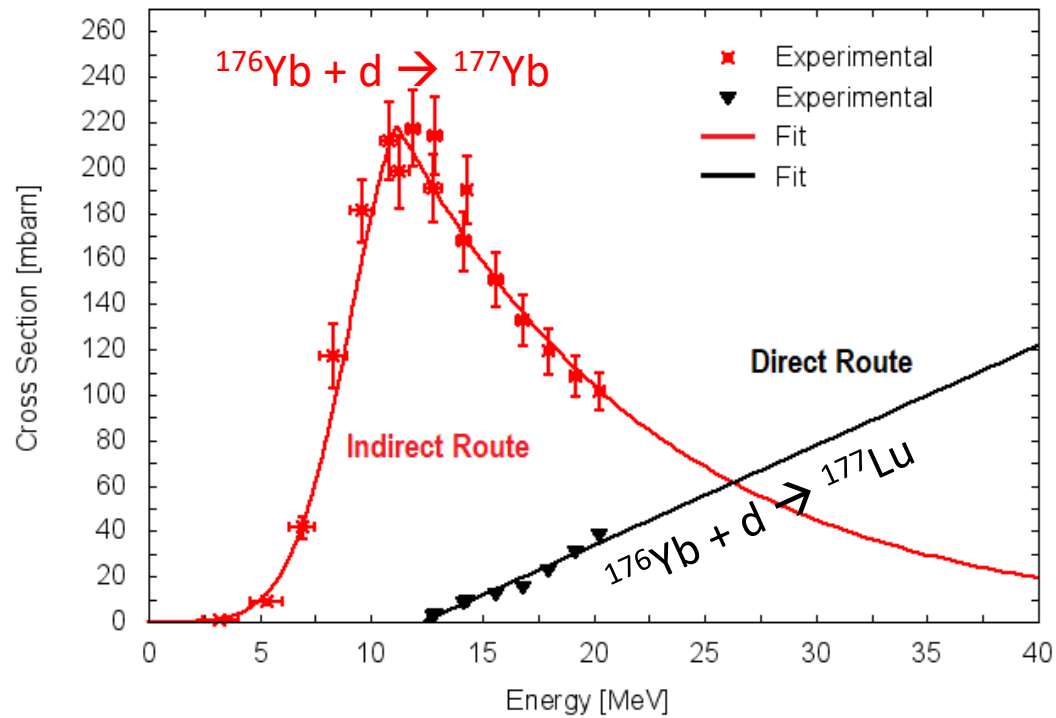
$^{177}\text{Hf}_{105}$ STABLE

Beta decay : 40-150 KeV
 Gammas : 208 keV (10.41% yield)

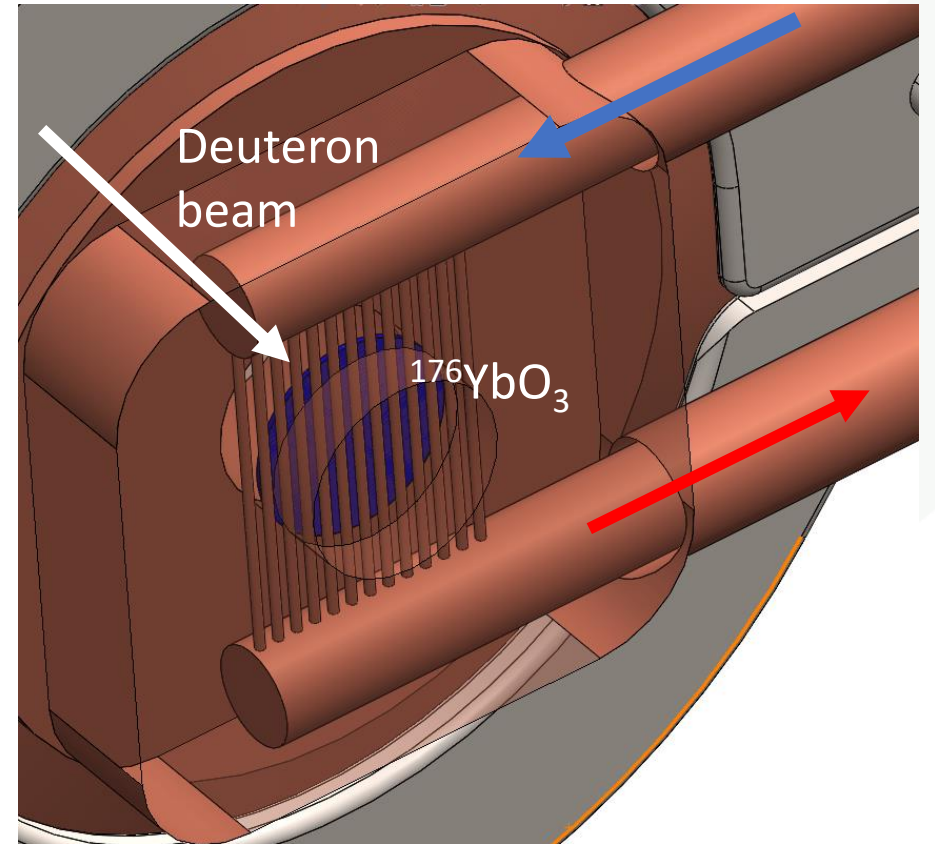
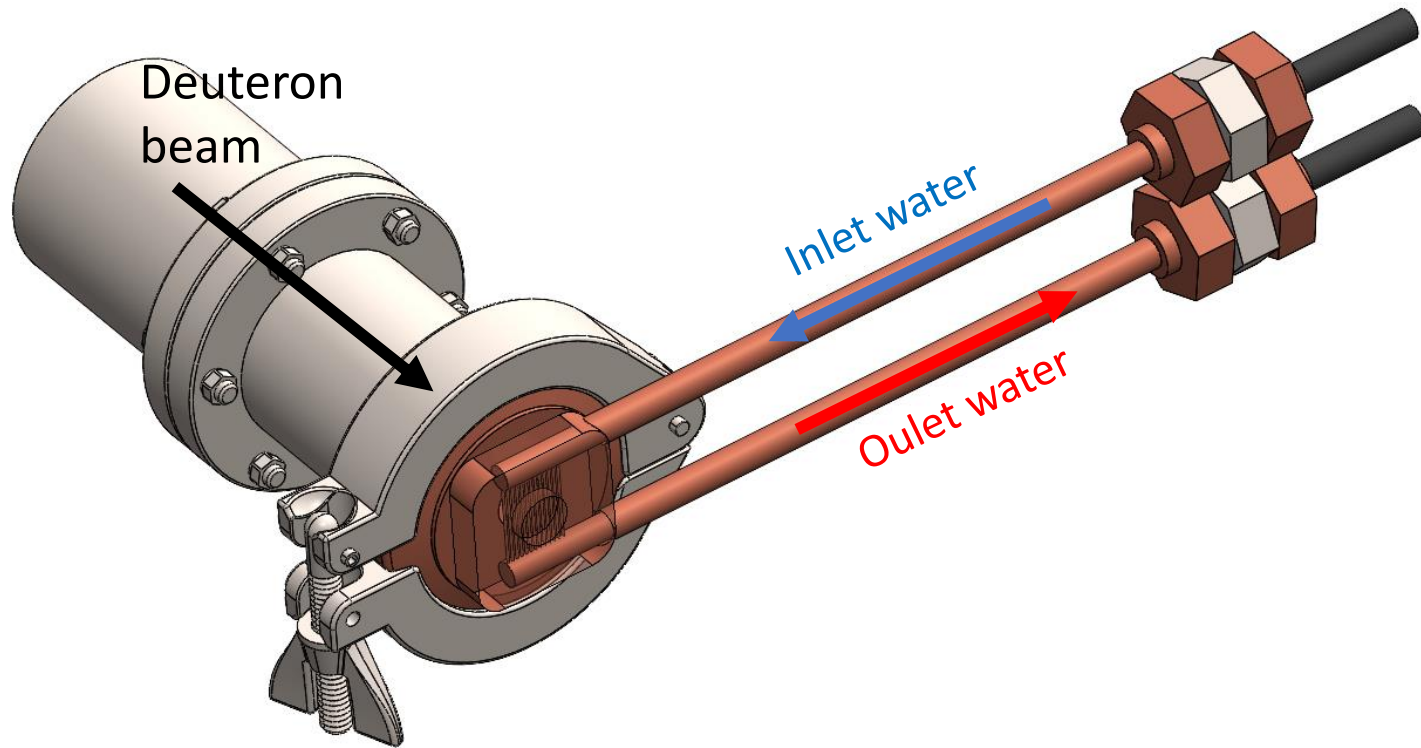
- ✓ Terapia con electrones
- ✓ Imagen SPECT con fotones



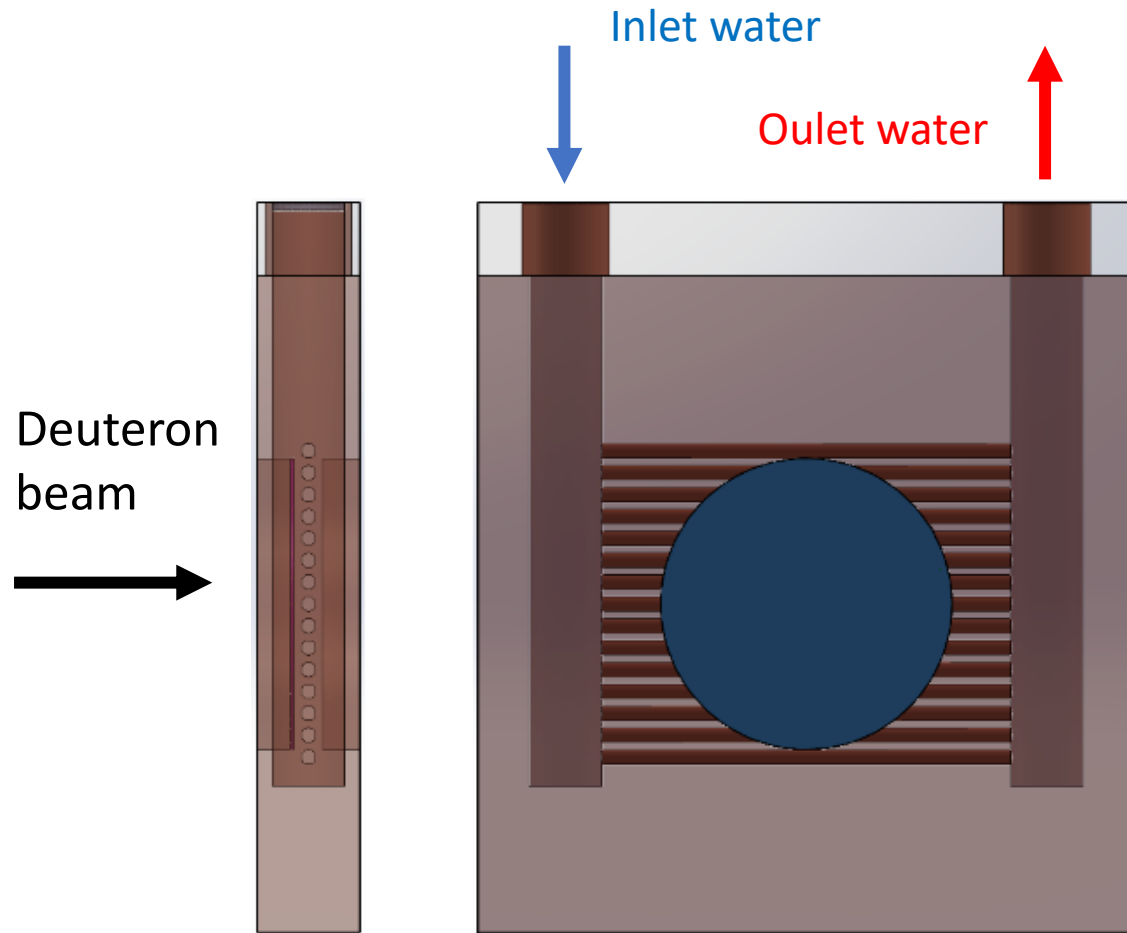
2. Producción de ^{177}Lu :



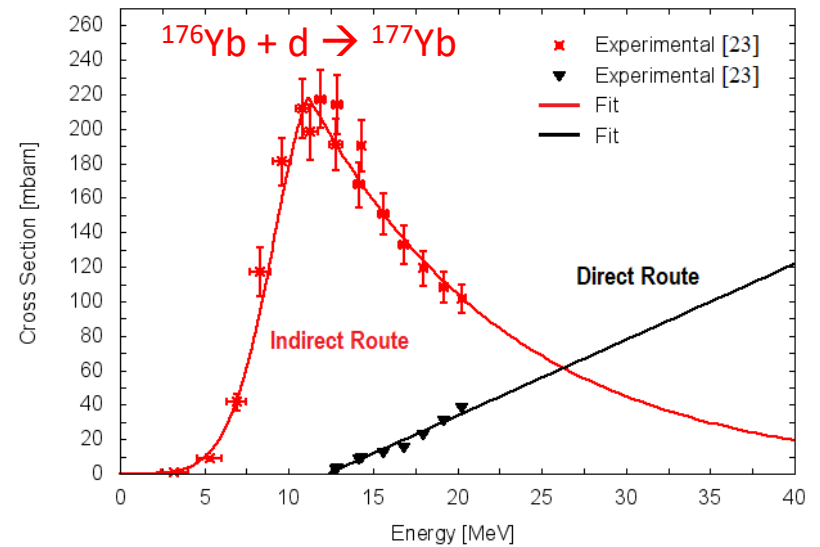
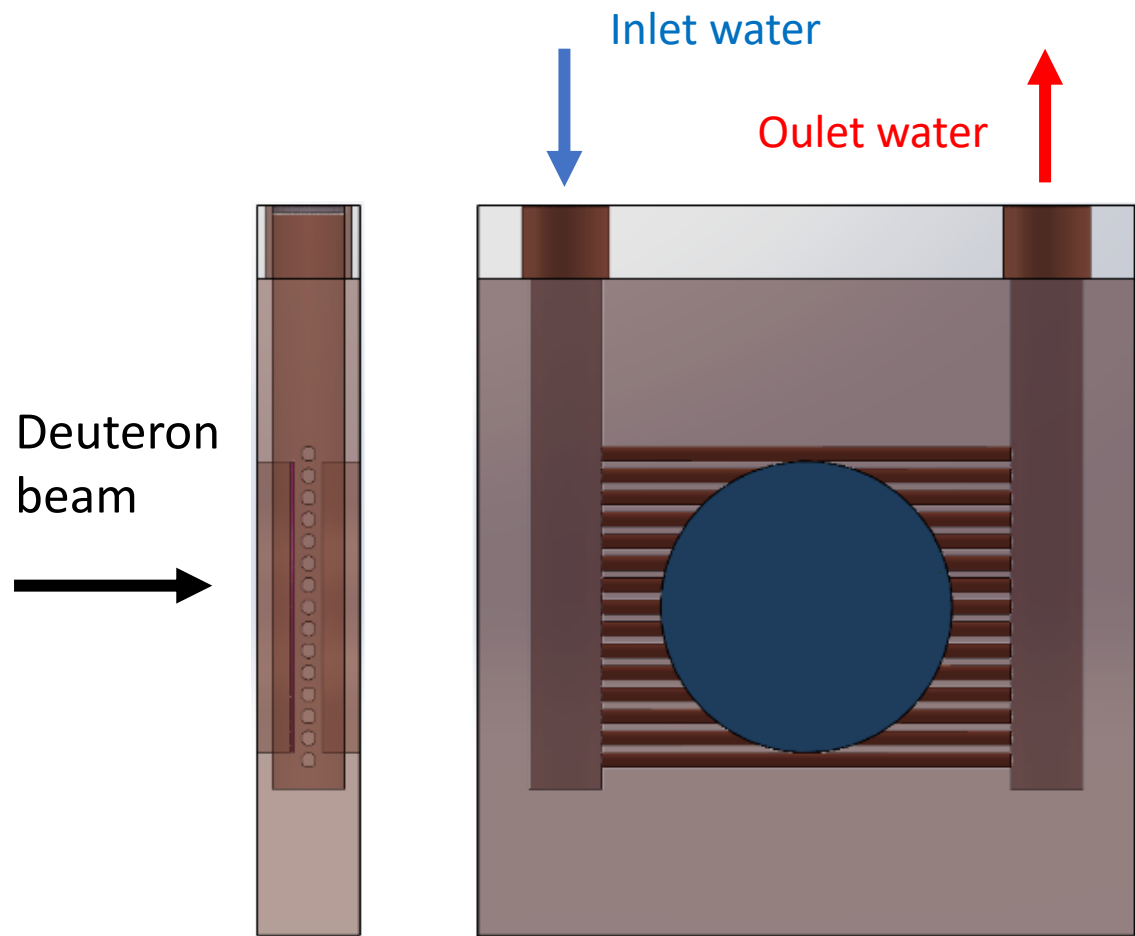
2. Producción de ^{177}Lu :



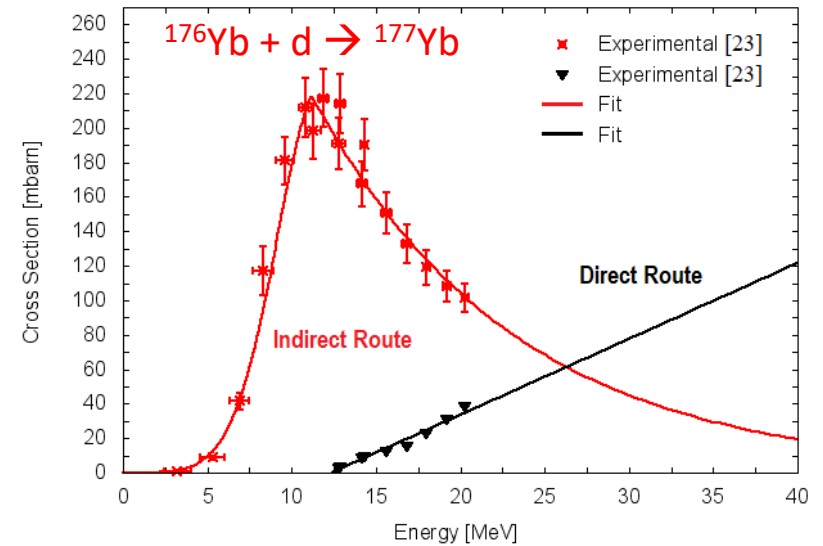
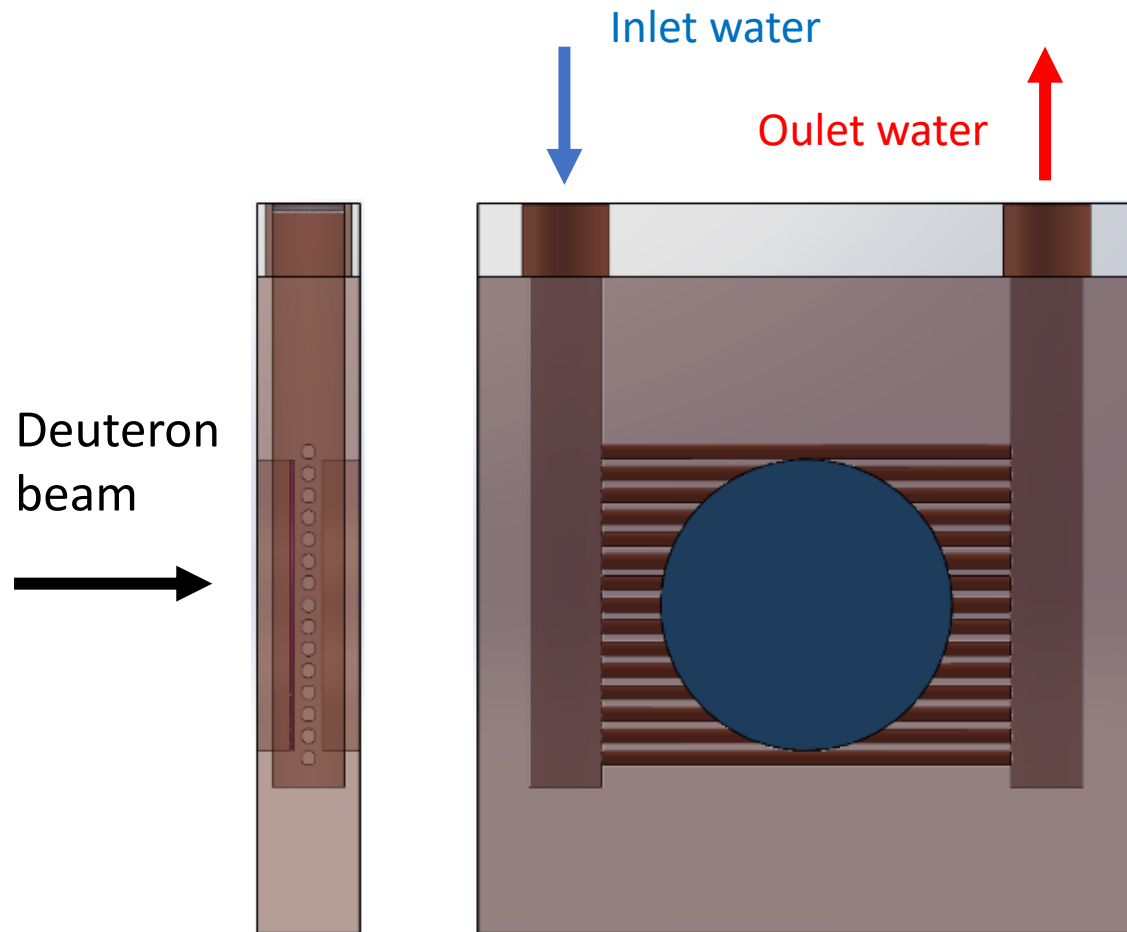
2. Producción de ^{177}Lu :



2. Producción de ^{177}Lu :



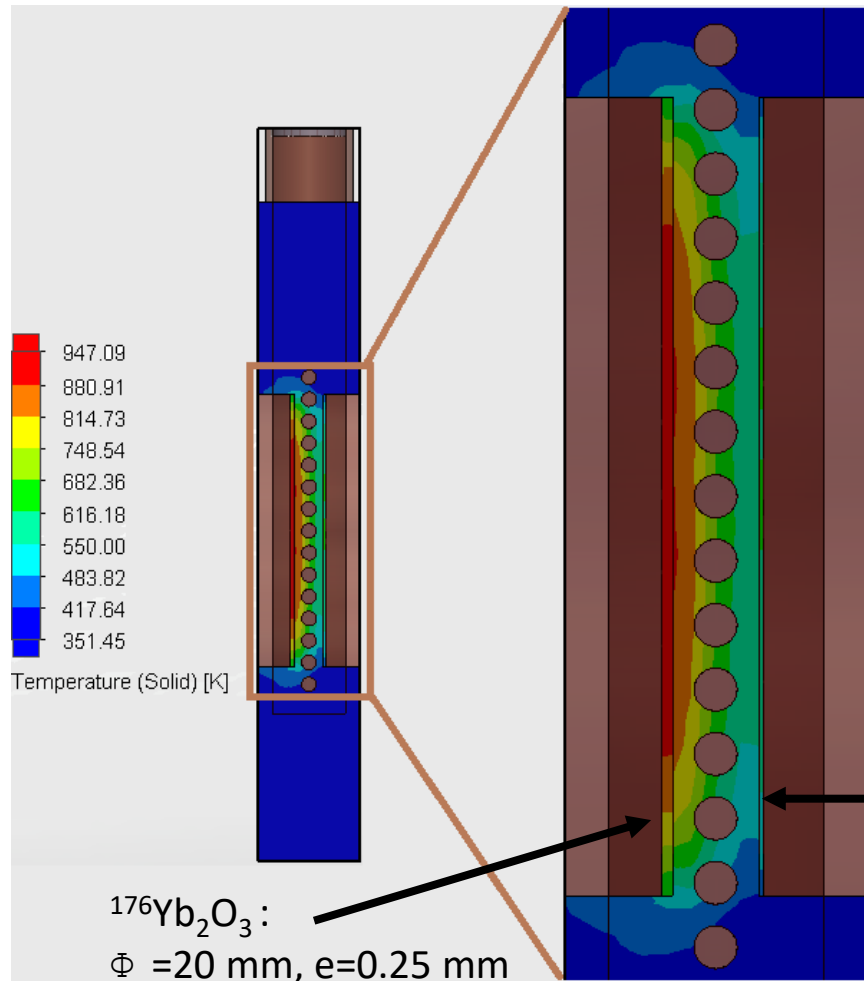
2. Producción de ^{177}Lu :



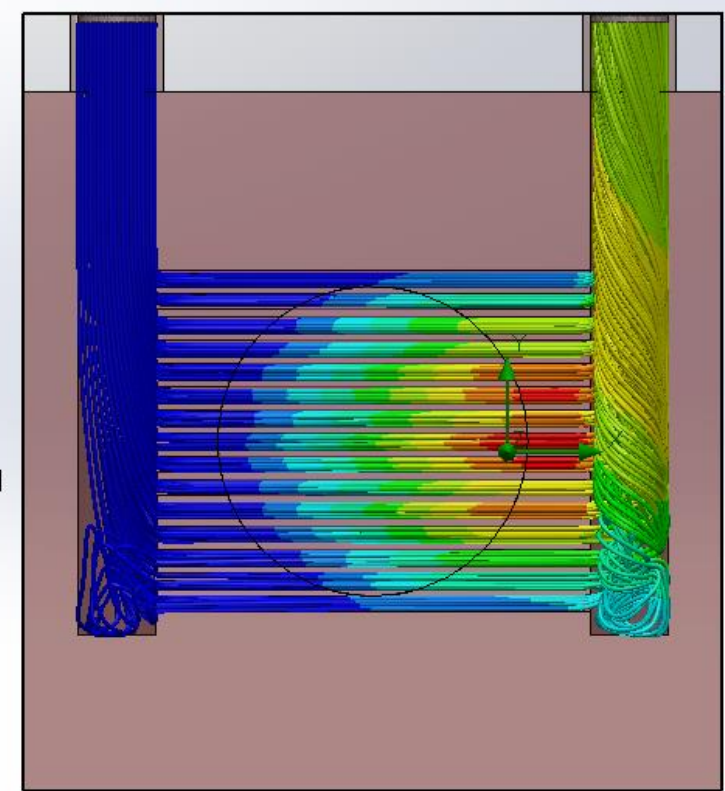
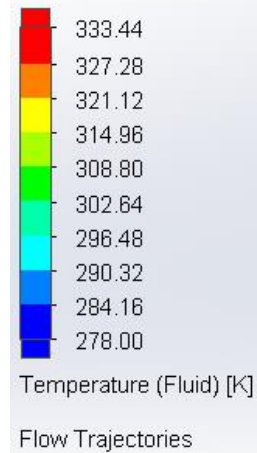
Utilización de una segunda muestra de $^{176}\text{YbO}_3$, para potenciar la producción mediante la ruta “Carrier-free”.

$E_{\text{in}} \sim 12 \text{ MeV}$

2. Producción de ^{177}Lu :



$^{176}\text{Yb}_2\text{O}_3$:
 $\Phi = 20 \text{ mm}$, $e=0.12 \text{ mm}$



Velocidad del fluido del sistema, 12 m/s ;
 Resistencia de contacto, $4 \cdot 10^{-7} \text{ K} \cdot \text{m}^2/\text{W}$

2. Producción de ^{177}Lu :

Producción con neutrones (Reactor) vs. Deuterones (DONES)

Reacción	Tiempo de irradiación (días)	Actividad (GBq)	Actividad Específica (GBq/mg)
$^{176}\text{Yb}(n,\gamma)^{177}\text{Yb}\rightarrow^{177}\text{Lu}$	7	590	1.11
$^{176}\text{Yb}(d,n)+^{176}\text{Yb}(d,p)$ (99%)	3.5	(1 st sample)	
		234	0.37
		(2 nd sample)	
		223	0.74

Con un haz de deuterones de 40 MeV y 1 mA, se podría obtener la misma actividad específica que en un reactor nuclear con neutrones, pero en *mitad de tiempo*.

2. Producción de ^{177}Lu :

Producción con neutrones (Reactor) vs. Deuterones (DONES)

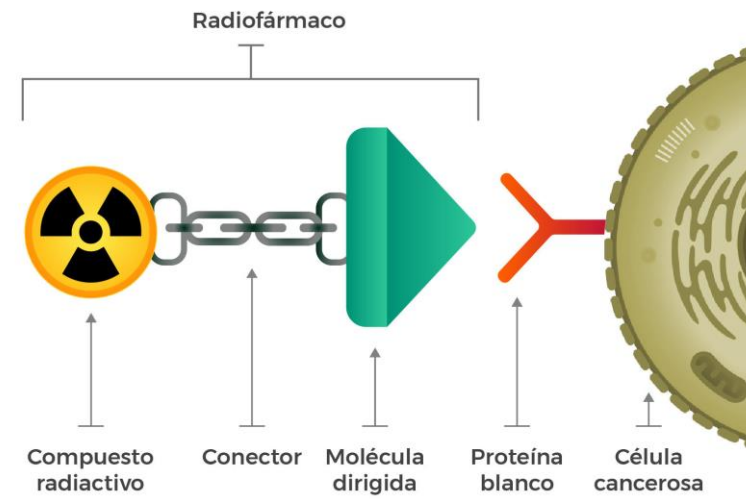
Reacción	Tiempo de irradiación (días)	Actividad (GBq)	Actividad Específica (GBq/mg)
$^{176}\text{Yb}(n,\gamma)^{177}\text{Yb} \rightarrow ^{177}\text{Lu}$	7	590	1.11
$^{176}\text{Yb}(d,n)+^{176}\text{Yb}(d,p)$ (99%)	3.5	(1 st sample)	
		234	0.37
		(2 nd sample)	
		223	0.74

Con un haz de deuterones de 40 MeV y 1 mA, se podría obtener la misma actividad específica que en un reactor nuclear con neutrones, pero en *mitad de tiempo*.

1 tratamiento con ^{177}Lu : 4 dosis, 7.4 GBq/dosis
1 día en DONES: 120 GBq tras purificación.

3. Estancia CIEMAT:

Análisis del proceso de marcaje de animales con ^{177}Lu :



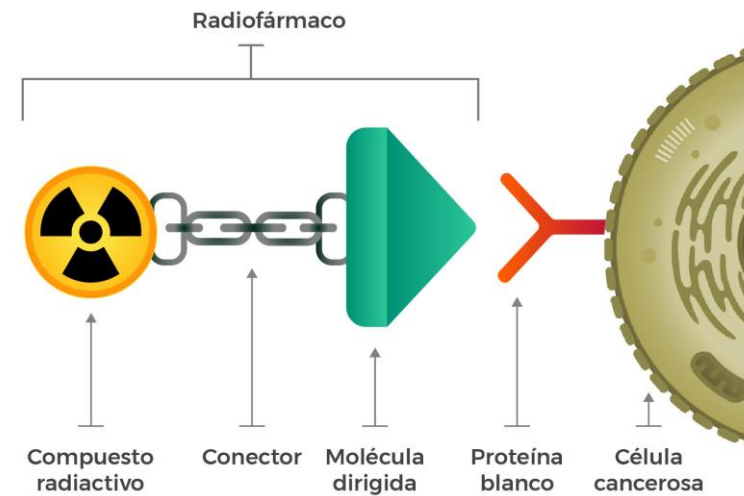
3. Estancia CIEMAT:

Análisis del proceso de marcaje de animales con ^{177}Lu :

- Conjugación: Anticuerpo + Molécula Dirigida

<i>(LEM215,</i>	<i>DOTA-NHS-ester,</i>
<i>28 nmoles)</i>	<i>exceso molar x 20</i>
<i>[150000g/mol]</i>	<i>[761.5 g/mol]</i>

-> Separación del exceso de DOTA-NHS; fase móvil, acetate gentínico



3. Estancia CIEMAT:

Análisis del proceso de marcaje de animales con ^{177}Lu :

- Conjugación: Anticuerpo + Molécula Dirigida

(LEM215, 28 nmoles) [150000g/mol]	DOTA-NHS-ester, exceso molar x 20 [761.5 g/mol]
---	---

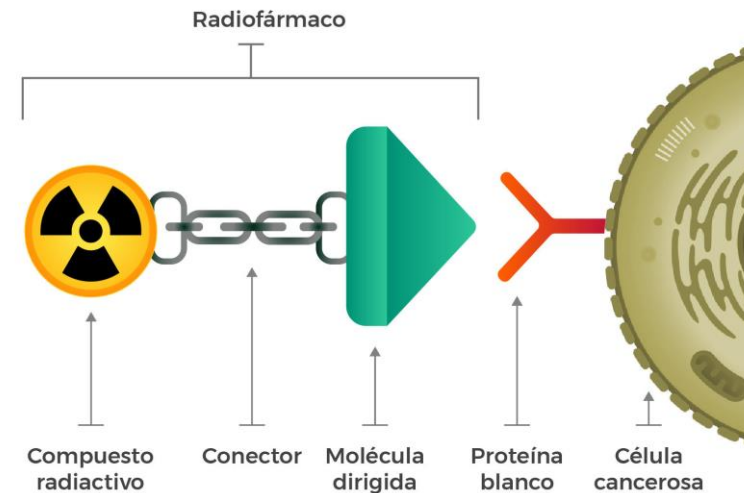
-> Separación del exceso de DOTA-NHS; fase móvil, acetate gentínico

- Marcaje: Ac-DOTA + ^{177}Lu HCl 0.04M

(1 mL)	(120 μL)
--------	----------------------

-> Agente quelante: 50 μL EDTA 50 mM

-> Separación del ^{177}Lu libre; fase móvil, PBS (tapón salino de fosfato)



3. Estancia CIEMAT:

Análisis del proceso de marcaje de animales con ^{177}Lu :

- Conjugación: Anticuerpo + Molécula Dirigida

(LEM215, 28 nmoles) [150000g/mol]	DOTA-NHS-ester, exceso molar x 20 [761.5 g/mol]
---	---

-> Separación del exceso de DOTA-NHS; fase móvil, acetate gentínico

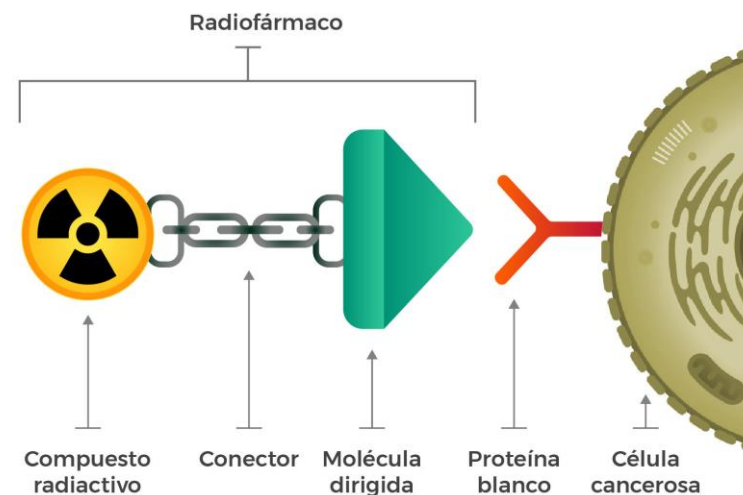
- Marcaje: Ac-DOTA + ^{177}Lu HCl 0.04M

(1 mL)	(120 μL)
--------	----------------------

-> Agente quelante: 50 μL EDTA 50 mM

-> Separación del ^{177}Lu libre; fase móvil, PBS (tapón salino de fosfato)

- Control de calidad, HPLC (*High Performance Liquid Chromatography*)



HPLC

3. Estancia CIEMAT:

Análisis del proceso de marcaje de animales con ^{177}Lu :

- Conjugación: Anticuerpo + Molécula Dirigida

(LEM215, 28 nmoles) [150000g/mol]	DOTA-NHS-ester, exceso molar x 20 [761.5 g/mol]
---	---

-> Separación del exceso de DOTA-NHS; fase móvil, acetate gentínico

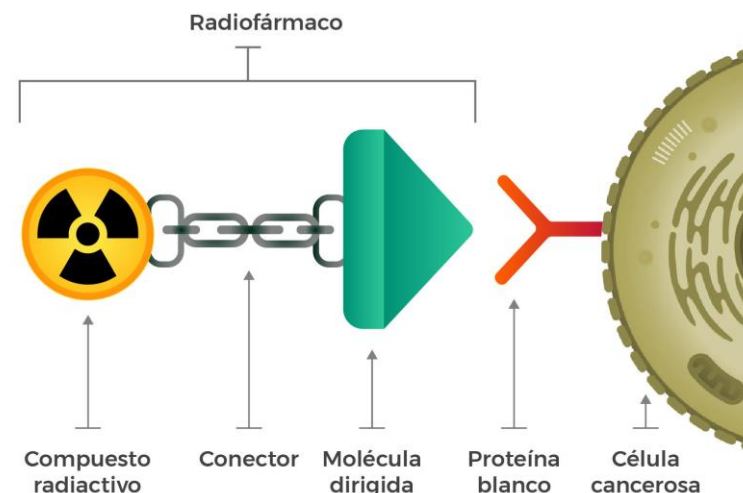
- Marcaje: Ac-DOTA + ^{177}Lu HCl 0.04M

(1 mL)	(120 μL)
--------	----------------------

-> Agente quelante: 50 μL EDTA 50 mM

-> Separación del ^{177}Lu libre; fase móvil, PBS (tapón salino de fosfato)

- Control de calidad, HPLC (*High Performance Liquid Chromatography*)
- 17 jeringuillas → Tratamiento en 15 ratones (vía cutánea) + 5 de control.

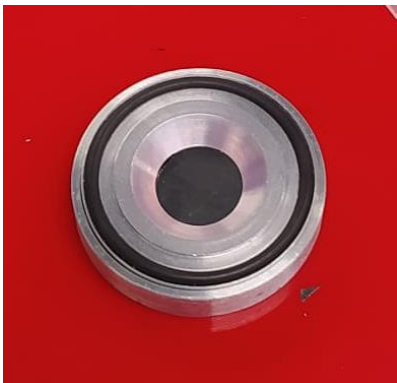


HPLC

Biodistribución en el tiempo.

4. Estancia en CNRS Orléans:

- Primer día, 10/10/2022 :
- Ho foils ; irradiación at 13 MeV
 - Monitor foils ; irradiación at 13 MeV
- Segundo día, 11/10/2022 :
- Ho foils ; irradiación at 17.5 MeV
 - Monitor foils ; irradiación at 17.5 MeV
 - Sc target ; irradiación at 17.5 MeV



Colaboración con: Isidro Da Silva y Conchi Ania, Cemhti CNRS-Orleans (Francia).

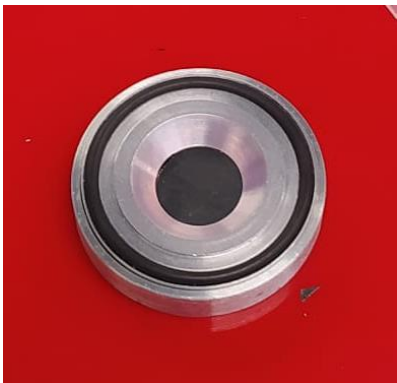
4. Estancia en CNRS Orléans:

Primer día, 10/10/2022 :

- Ho foils ; irradiación at 13 MeV
- Monitor foils ; irradiación at 13 MeV

Segundo día, 11/10/2022 :

- Ho foils ; irradiación at 17.5 MeV
- Monitor foils ; irradiación at 17.5 MeV
- Sc target ; irradiación at 17.5 MeV



Colaboración con: Isidro Da Silva y Conchi Ania, Cemhti CNRS-Orleans (Francia).

4. Estancia en CNRS Orléans: Sc(d,3n) ^{44}Ti

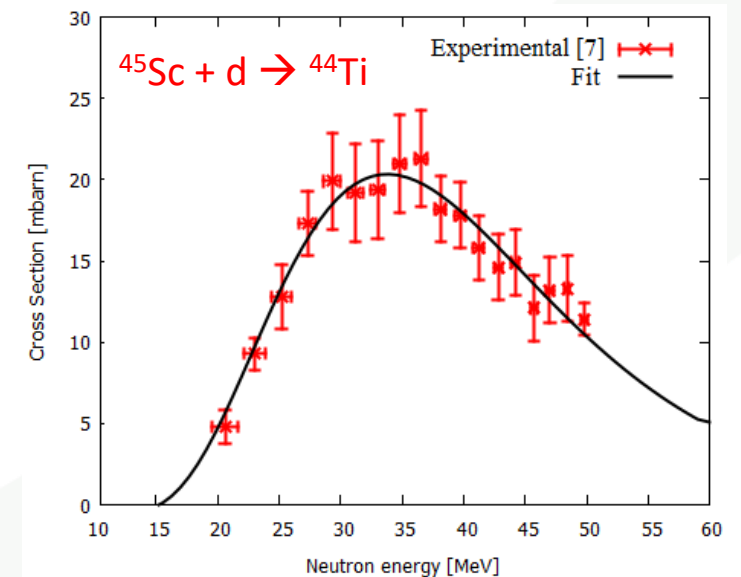
- Producción de ^{44}Ti en DONES, para el desarrollo de generadores $^{44}\text{Ti}/^{44}\text{Sc}$.
- La vida media del ^{44}Ti (58.9 a) es lo suficientemente larga para proporcionar una actividad prácticamente ilimitada.

4. Estancia en CNRS Orléans: $\text{Sc}(d,3n) {}^{44}\text{Ti}$

- Producción de ${}^{44}\text{Ti}$ en DONES, para el desarrollo de generadores ${}^{44}\text{Ti}/{}^{44}\text{Sc}$.
- La vida media del ${}^{44}\text{Ti}$ (58.9 a) es lo suficientemente larga para proporcionar una actividad prácticamente ilimitada.
- El ${}^{44}\text{Sc}$ (3.97 h) es un buen candidato para diagnóstico PET; *Positron Decay: 632 keV (94.3%)*

4. Estancia en CNRS Orléans: $Sc(d,3n) {}^{44}Ti$

- Producción de ${}^{44}Ti$ en DONES, para el desarrollo de generadores ${}^{44}Ti/{}^{44}Sc$.
- La vida media del ${}^{44}Ti$ (58.9 a) es lo suficientemente larga para proporcionar una actividad prácticamente ilimitada.
- El ${}^{44}Sc$ (3.97 h) es un buen candidato para diagnóstico **PET**; *Positron Decay*: **632 keV (94.3%)**
- Ruta convencional de producción: ${}^{45}Sc(p,2n) {}^{44}Ti$, ciclotrón con protones a 20 MeV.
- Ruta alternativa: ${}^{45}Sc(d,3n) {}^{44}Ti$, DONES con deuterones a 40 MeV.

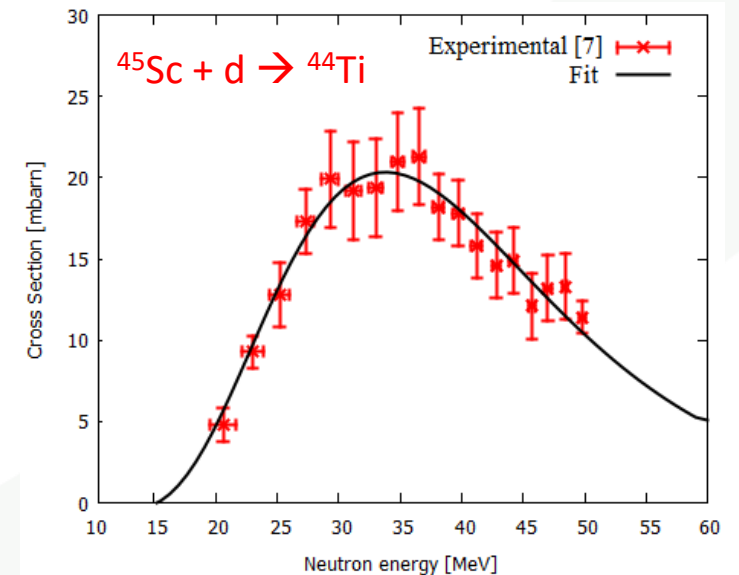


4. Estancia en CNRS Orléans: ^{44}Ti ($^{45}\text{Sc}(d,3n)$)

- Producción de ^{44}Ti en DONES, para el desarrollo de generadores $^{44}\text{Ti}/^{44}\text{Sc}$.
- La vida media del ^{44}Ti (58.9 a) es lo suficientemente larga para proporcionar una actividad prácticamente ilimitada.
- El ^{44}Sc (3.97 h) es un buen candidato para diagnóstico PET; *Positron Decay*: **632 keV (94.3%)**
- Ruta convencional de producción: $^{45}\text{Sc}(p,2n)^{44}\text{Ti}$, ciclotrón con protones a 20 MeV.
- Ruta alternativa: $^{45}\text{Sc}(d,3n)^{44}\text{Ti}$, DONES con deuterones a 40 MeV.
- **CNRS: $^{45}\text{Sc}(d,3n)^{44}\text{Ti}$, ciclotrón con deuterones a 17.5 MeV.**



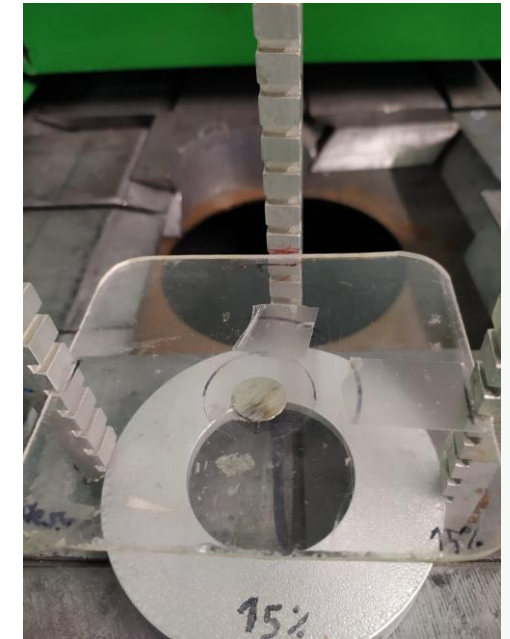
$\Phi = 12.7 \text{ mm}$, $e = 120 \text{ }\mu\text{m}$, $m = 40.8 \text{ mg}$



4. Estancia en CNRS Orléans: $Sc(d,3n) {}^{44}Ti$

CNRS: ${}^{45}Sc(d,3n) {}^{44}Ti$, ciclotrón con deuterones a 17.5 MeV.

E_{in} (MeV)	17.50	I (μA)	0.5
E_{out} (MeV)	16.24	t_{irrad} (min)	30
Actividad EOB (MBq)	${}^{44}Ti$	3.9413E-07	EC (58.9 y)
Actividad Impurezas EOB (MBq)	${}^{45}Ti$	4.89E+01	$\beta+$ (3.08 h)
	${}^{46}Sc$	5.07E-03	$\beta-$ (83.79 d)
	${}^{45m}Sc$	3.53E+02	IT (325.8 ms)
	${}^{45}Ca$	1.64E-03	$\beta-$ (162.61 d)
	${}^{41}Ca$	2.91E-10	EC ($9.94 \cdot 10^4$ y)
	${}^{42}K$	3.93E-01	$\beta-$ (12.355 h)
	${}^{39}Ar$	4.88E-07	$\beta-$ (268 y)
Isótopos EOB (MBq) Medidos HPGe	${}^{42}K$	$(1.3 \pm 0.6)E-01$	
	${}^{45}Ti$	$(2.73 \pm 0.14)E+01$	
	${}^{46}Sc$	$(3.73 \pm 0.10)E-02$	
	${}^{44m}Sc$	$(4.68 \pm 0.19)E-02$	
	${}^{44}Sc$	$(3.6 \pm 0.3)E+00$	



Se han detectado señales del ${}^{44m}Sc$ (58.6 h) y ${}^{44}Sc$ (3.97 h).
¿Por qué? ${}^{45}Sc(d,2n+p)$

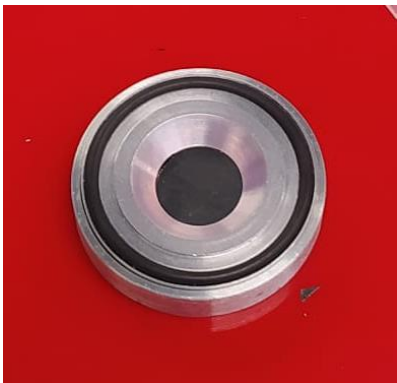
4. Estancia en CNRS Orléans:

Primer día, 10/10/2022 :

Ho foils ; irradiación at 13 MeV
Monitor foils ; irradiación at 13 MeV

Segundo día, 11/10/2022 :

Ho foils ; irradiación at 17.5 MeV
Monitor foils ; irradiación at 17.5 MeV
Sc target ; irradiación at 17.5 MeV



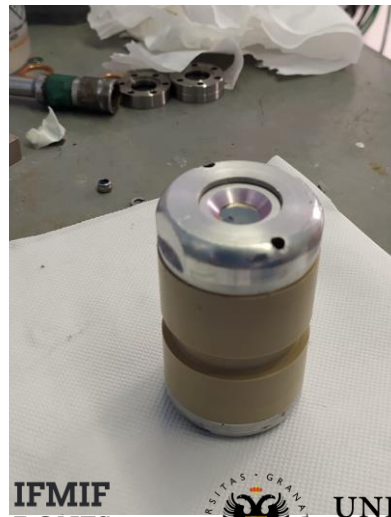
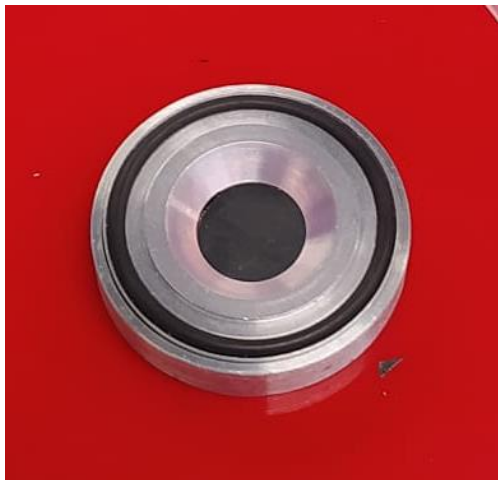
Colaboración con: Isidro Da Silva y Conchi Ania, Cemhti CNRS-Orleans (Francia).

4. Estancia en CNRS Orléans: $\text{Ho}(d,2n) {}^{165}\text{Er}$



Reaction foils: Ho
Monitor foils : Ti, Cu, Fe

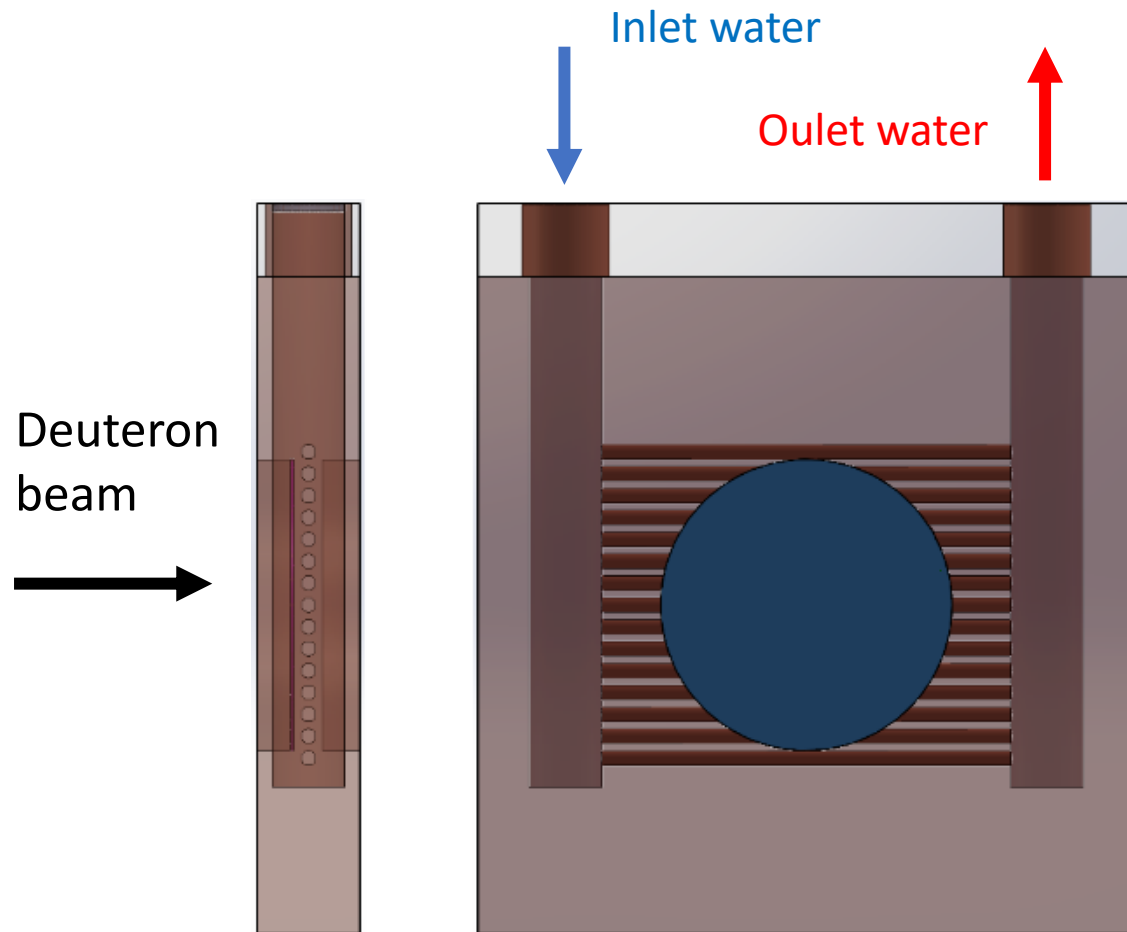
$\Phi = 12.7 \text{ mm}$



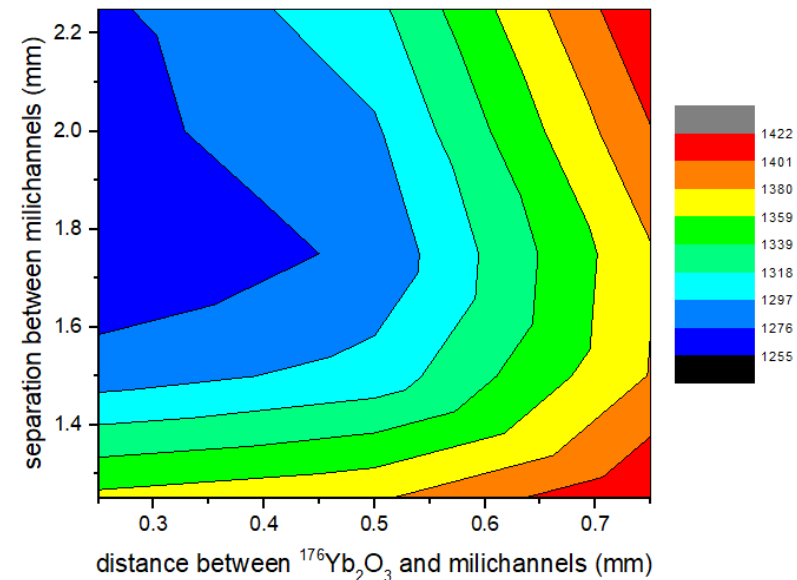
Técnica de láminas apiladas
("Stacked foils technique")

FIN

2. Producción de ^{177}Lu :



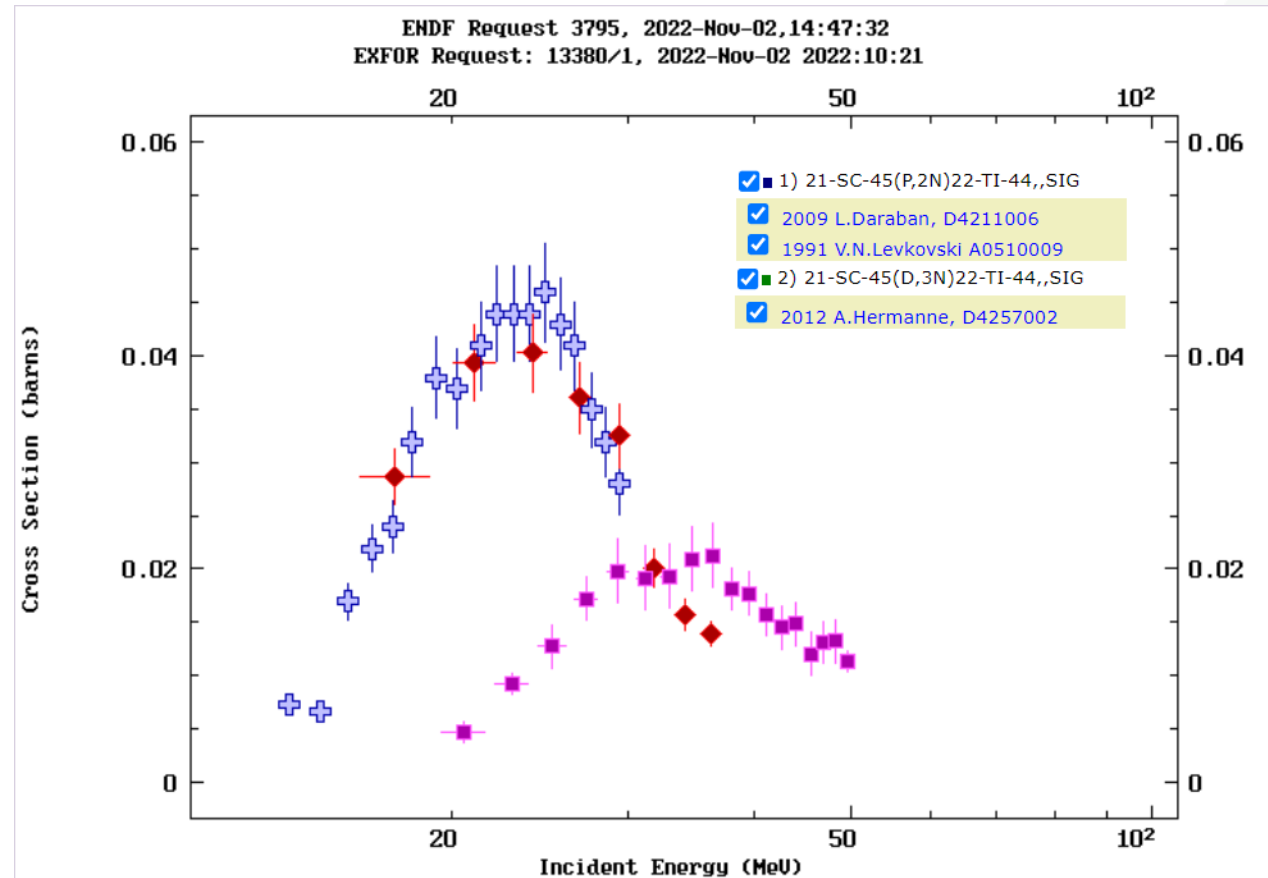
Distancia entre milicanales vs. distancia milicanales-muestra.



Puntos de fusión: $^{176}\text{Yb}_2\text{O}_3$, 2628K ;
Backing, Cu , 1358 K ;

4. Estancia en CNRS Orléans: $Sc(d,3n)^{44}Ti$

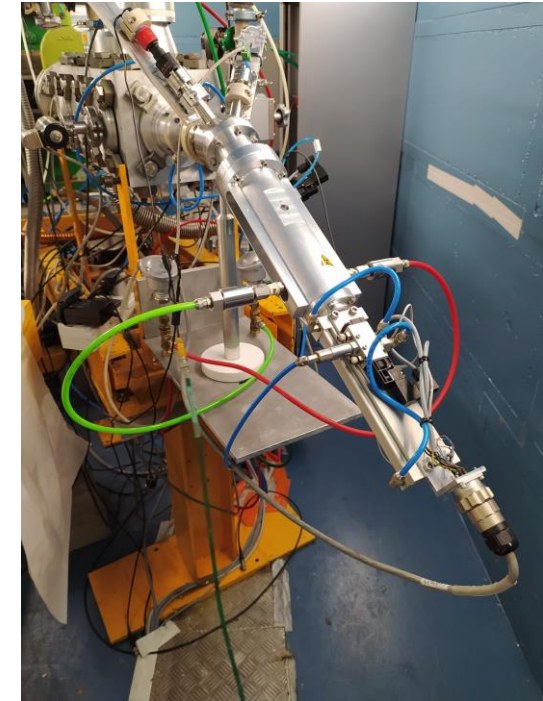
- Producción de ^{44}Ti en DONES, para el desarrollo de generadores $^{44}Ti/^{44}Sc$.
- La vida media del ^{44}Ti (58.9 a) es lo suficientemente larga para proporcionar una actividad prácticamente ilimitada.
- El ^{44}Sc (3.97 h) es un buen candidato para diagnóstico PET; *Positron Decay: 632 keV (94.3%)*
- Ruta convencional de producción: $^{45}Sc(p,2n)^{44}Ti$, ciclotrón con protones a 20 MeV.
- Ruta alternativa: $^{45}Sc(d,3n)^{44}Ti$, DONES con deuterones a 40 MeV.



4. Estancia en CNRS Orléans: $\text{Ho}(d,2n) {}^{165}\text{Er}$

Primer día, 10/10/2022 : Ho foils ; irradiación at 13 MeV

Layer	Foil	Thickness (um)		Energy (MeV)		Activity (MBq)		Activity EOB (MBq)
		Real	Effective	In	Out			
1	Ho	25	28.87	13.0	12.3	5.81E+00	165Er	7.7 ± 0.5
3	Ho	25	28.87	11.2	10.4	5.22E+00	165Er	5.6 ± 0.3
5	Ho	25	28.87	9.8	8.9	2.46E+00	165Er	3.28 ± 0.21
7	Ho	25	28.87	8.4	7.5	7.40E-01	165Er	1.71 ± 0.15
	real	thickness given by manufacturer						
	effective	thickness crossed by beam on 30°sloped targetry (CISCoTe)						



Segundo día, 11/10/2022 : Ho foils ; irradiación at 17.5 MeV

Layer	Foil	Thickness (um)		Energy (MeV)		Activity (MBq)		Activity EOB (MBq)
		Real	Effective	In	Out			
1	Ho	50	57.74	17.5	16.4	6.65E+00	165Er	10.6 ± 0.6
3	Ho	50	57.74	15.5	14.2	8.71E+00	165Er	13.7 ± 0.7
5	Ho	50	57.74	13.7	12.3	1.13E+01	165Er	16.2 ± 0.9
7	Ho	50	57.74	11.9	10.4	1.10E+01	165Er	13.0 ± 0.7
	real	thickness given by manufacturer						
	effective	thickness crossed by beam on 30°sloped targetry (CISCoTe)						

ANEXO 1: Stacked foils technique

Primer día, 10/10/2022 : Ho foils ; irradiación at 13 MeV

Layer	Foil	Thickness (um)		Energy (MeV)		Activity (MBq)		Activity EOB (MBq)
		Real	Effective	In	Out			
1	Ho	25	28.87	13.0	12.3	5.81E+00	165Er	7.7 ± 0.5
2	Cu	25	28.87	12.3	11.2	4.33E-02	65Zn	
						8.70E+01	63Zn	
3	Ho	25	28.87	11.2	10.4	5.22E+00	165Er	5.6 ± 0.3
4	Ti	25	28.87	10.4	9.8	2.10E-01	48V	
5	Ho	25	28.87	9.8	8.9	2.46E+00	165Er	3.28 ± 0.21
6	Fe	10	11.55	8.9	8.4	7.83E-01	55Co	
7	Ho	25	28.87	8.4	7.5	7.40E-01	165Er	1.71 ± 0.15
8	Cu	25	28.87	7.5	5.8	1.55E-02	65Zn	
						1.49E+00	63Zn	
	real	thickness given by manufacturer						
	effective	thickness crossed by beam on 30°sloped targetry (CISCoTe)						

Cálculos de la pérdida de energía en las láminas realizados con SRIM.

ANEXO 1: Stacked foils technique

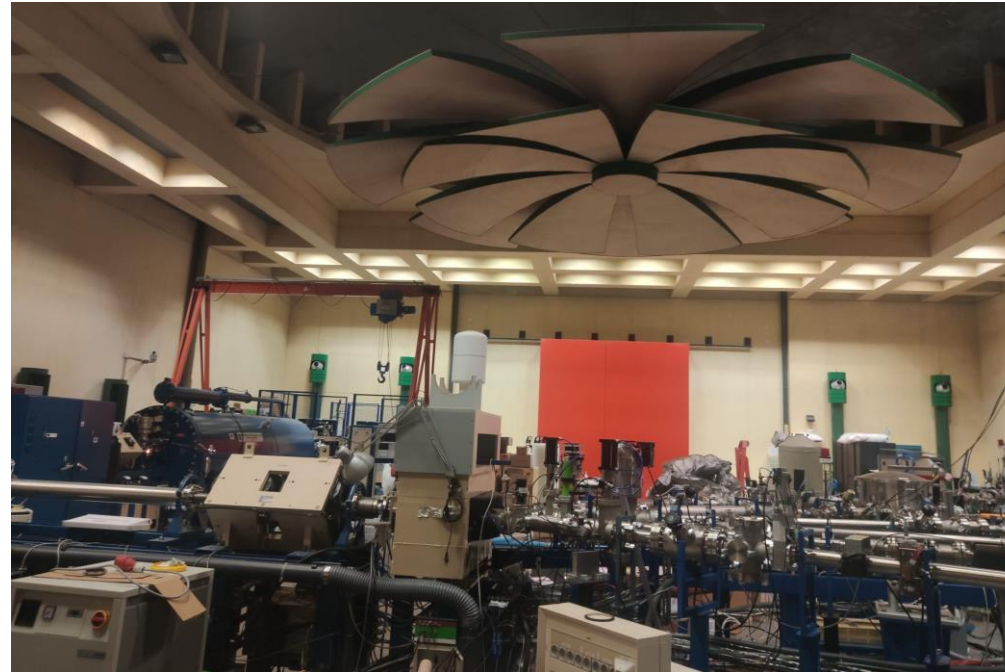
Segundo día, 11/10/2022 : Ho foils ; irradiación at 17.5 MeV

Layer	Foil	Thickness (um)		Energy (MeV)		Activity (MBq)		Activity EOB (MBq)
		Real	Effective	In	Out			
1	Ho	50	57.74	17.5	16.4	6.65E+00	165Er	10.6 ± 0.6
2	Cu	25	28.87	16.4	15.5	4.09E-02	65Zn	
3	Ho	50	57.74	15.5	14.2	8.71E+00	165Er	13.7 ± 0.7
4	Ti	25	28.87	14.2	13.7	3.04E-01	48V	
5	Ho	50	57.74	13.7	12.3	1.13E+01	165Er	16.2 ± 0.9
6	Fe	10	11.55	12.3	11.9	1.70E-02	56Co	
7	Ho	50	57.74	11.9	10.4	1.10E+01	165Er	13.0 ± 0.7
8	Cu	25	28.87	10.4	9.2	3.80E-02	65Zn	
	real	thickness given by manufacturer						
	effective	thickness crossed by beam on 30°sloped targetry (CISCoTe)						

Cálculos de la pérdida de energía en las láminas realizados con SRIM.

5. "Summer School": HiSPANoS – CNA Sevilla

- Epithermal neutron production and activation for MACS measurements
Carlos Guerrero y Pablo Pérez Maroto
- Fast neutron production and detection with a deuteron beam
Begoña Fernández and Carlos Guerrero
- Fast/Thermal neutron imaging
María de los Ángeles Millán-Callado
- Study of the fission neutron with moderated ^3He detectors:
Ariel Tarifeño-Saldivia



Producción de isótopos en DONES: análisis exhaustivo de diferentes isótopos y diseño preliminar de su producción industrial.

M.Elena López Melero (PhD)
melopez@ugr.es

Javier Praena Rodríguez (UGR) | Eduardo Romero Sanz (CIEMAT)

THE KEY TO THE FUTURE



Modelización de los sensores del STUMM (Start-up and Monitoring Module)

Juan Antonio Moreno Pérez
juanantoniomp@ugr.es

Migue Ángel Carvajal Rodríguez (UGR) | Rafael Vila Vázquez (CIEMAT)

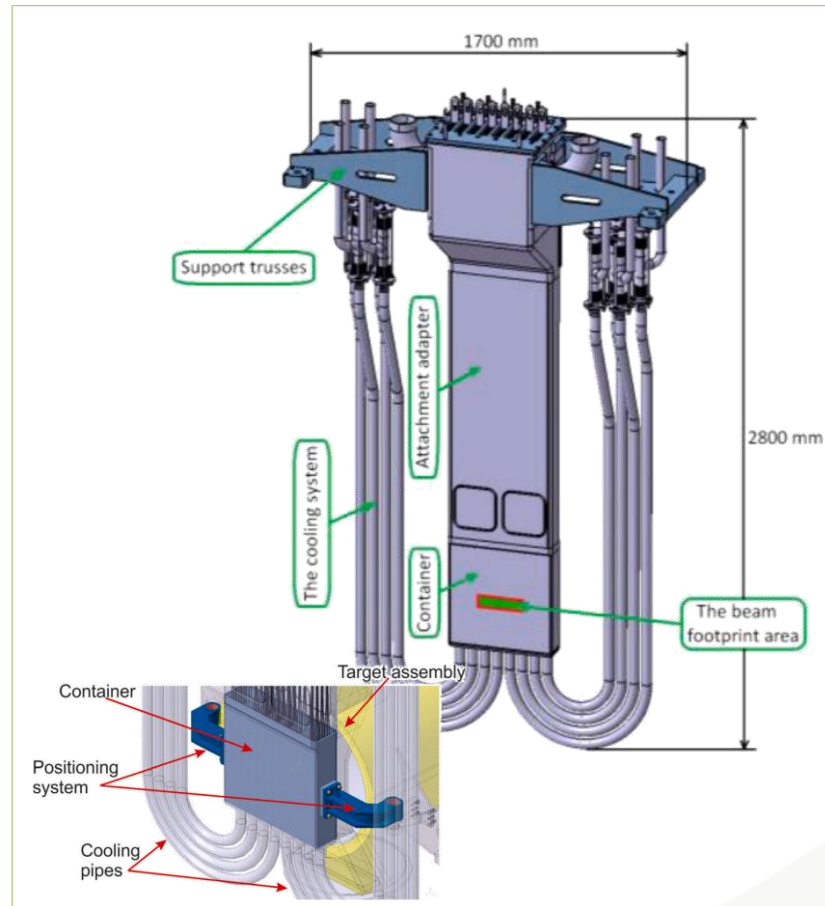
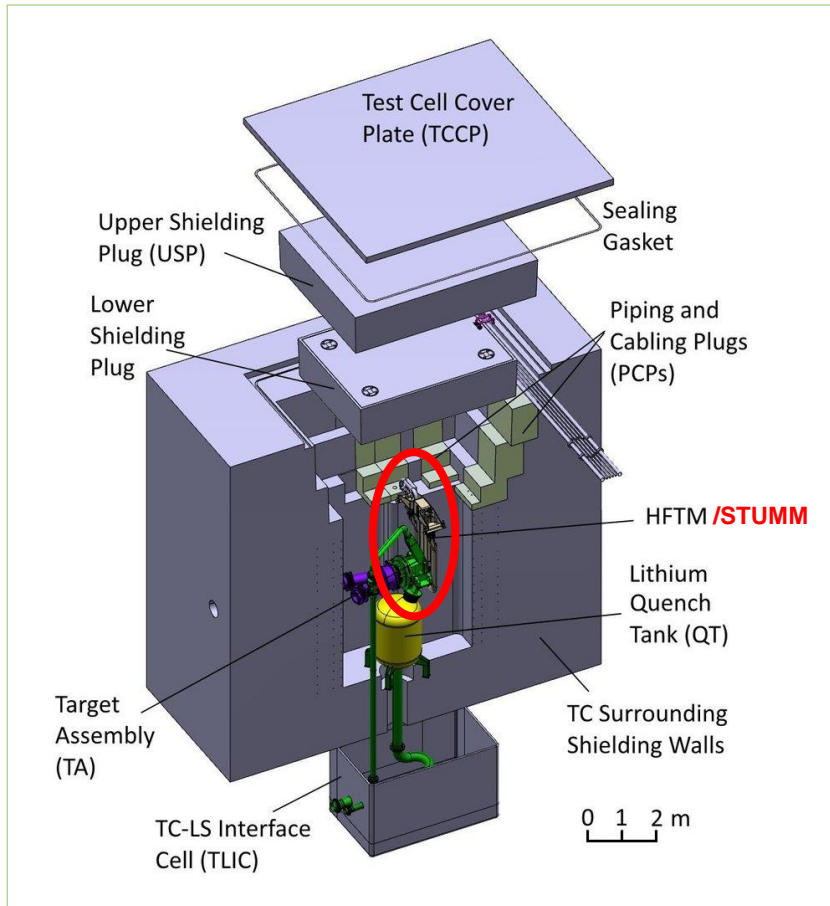
THE KEY TO THE FUTURE



Contenido

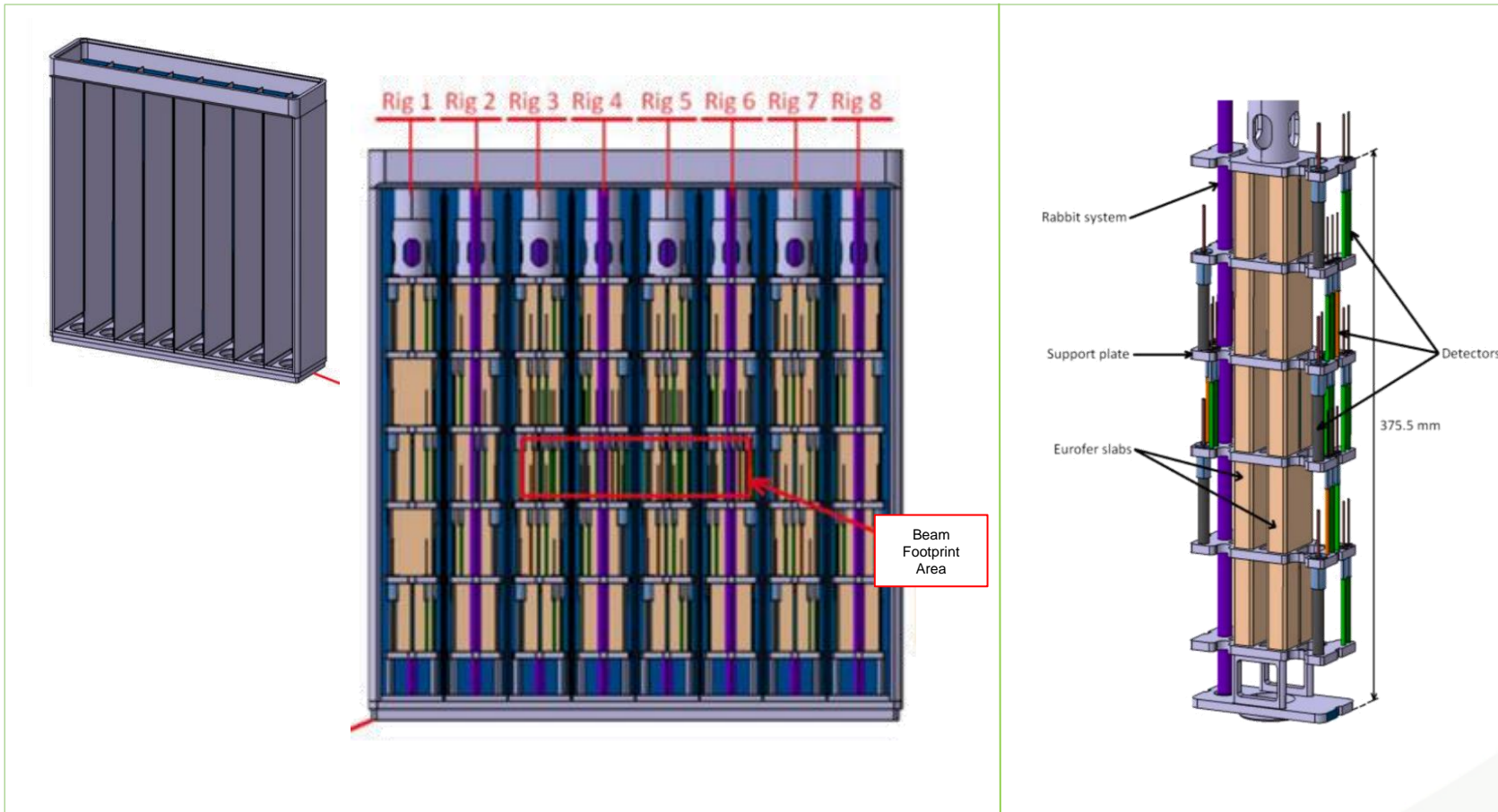
- 1. Introducción**
- 2. Detectores de radiación**
- 3. Estudios previos**
- 4. Estado de la tesis**
- 5. Conclusiones**

1. Introducción: Módulo STUMM (Start-up and monitoring module)



- Se encuentra en el lugar del **HFTM** (High Flux Test Module) durante la **fase de puesta en marcha**.
- Partes principales:
 - **Contenedor**, en el que se encuentran los **dispositivos de medida**.
 - Vigas de soporte.
 - Adaptador para la fijación de cables y tuberías.
 - Sistema de **refrigeración** (Helio)
- Objetivos:
 - **Monitorizar** las condiciones de radiación y temperatura.
 - **Caracterizar** el flujo de neutrones.
 - **Validar** la modelización neutrónica de la instalación.

1. Introducción: Módulo STUMM (Start-up and monitoring module)



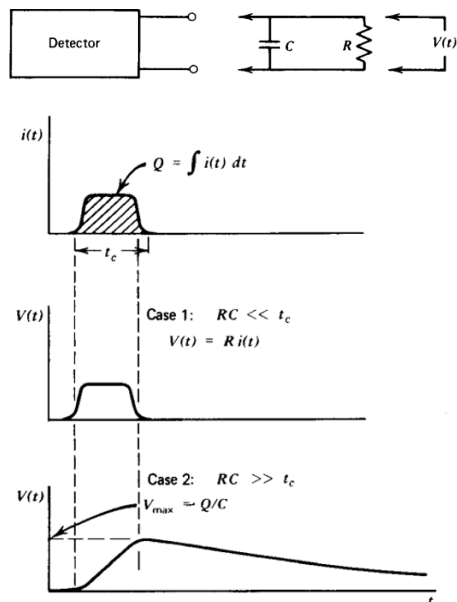
- La estructura se divide en **8 columnas**, fraccionadas a su vez en **5 niveles**.
- El **área de los detectores** se denomina **área activa**, y la parte central “beam footprint area” (cuatro segmentos centrales del tercer nivel).
- Además, en el diseño se incluyen **dos losas** que dividen el área en:
 - **Zona frontal**, proporciona información de la distribución de neutrones y del flujo gamma.
 - **Zona posterior**, que recoge información de la radiación en condiciones similares al HFTM.
- Algunos de los **sensores** que se espera instalar son:
 - **Cámaras de fisión**
 - **Cámaras de ionización**
 - **SPNDs (Self-Powered Neutron Detectors)**

2. Detectores de radiación

- En general, el resultado suele ser una **carga** procedente de la **interacción de una partícula**, que se recoge mediante la **aplicación de un campo eléctrico** que hace que las cargas positivas y negativas fluyan en direcciones opuestas.

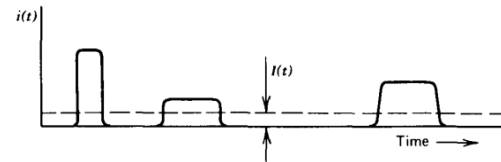
Modo Pulso

- Registra **cada una de las interacciones**.
- Suele **fallar** con **tasa** de actividad **alta**.
- El pulso producido **depende del circuito** al que se conecta el detector.

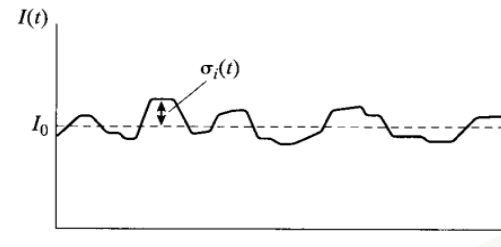


Modo Corriente

- Se **promedian** las **fluctuaciones** debidas a las interacciones individuales de radiación registrando una **corriente media** que **depende del producto** de la **carga de cada interacción** y su **tasa**.

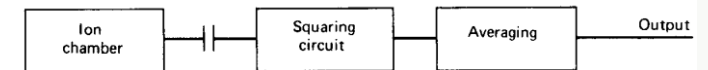


- También se puede reescribir como la **suma** de una **corriente constante** más una **componente fluctuante** que depende del tiempo.



Modo Voltaje Cuadrático Medio

- Este detector trabaja con un circuito capaz de **bloquear la media** de la señal de corriente y **dejar pasar la componente fluctuante**.



- La señal de interés obtenida es **directamente proporcional a la tasa de eventos (r)** y al **cuadrado de la carga** de cada uno.

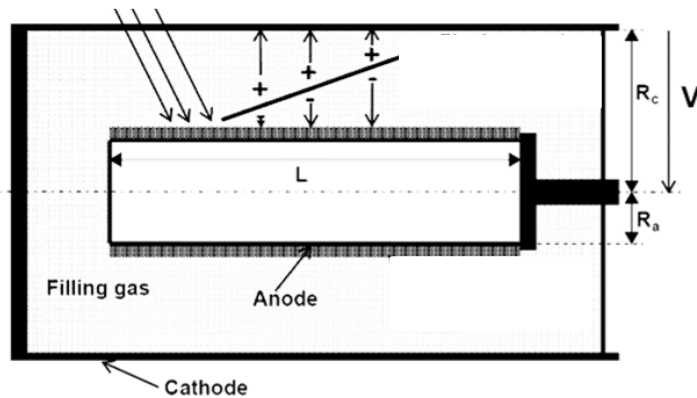
$$\overline{\sigma_I^2(t)} = \frac{rQ^2}{T}$$

- Es **útil en entornos de radiación mixtos** en los que las cargas se producen por distinto tipo de radiación.

2. Detectores de radiación

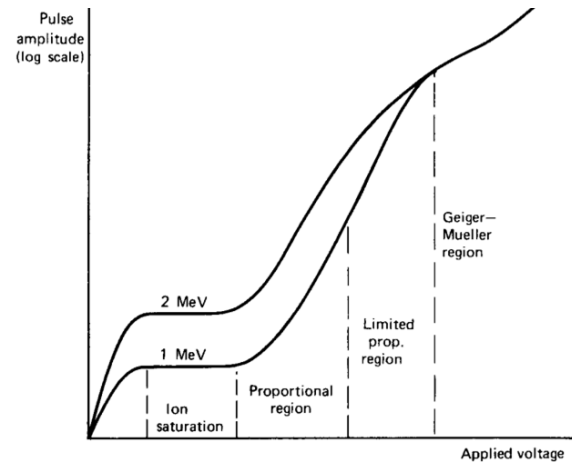
Cámaras de ionización

- Se basan en la **ionización** y excitación de **moléculas de gas** a lo largo del recorrido de una partícula, que crean iones positivos y electrones libres.
- Suele **aplicarse un campo eléctrico** para recoger las cargas.
- Se debe transferir una **energía igual a la de ionización de la molécula de gas** (incluso **mayor** por las pérdidas de energía).



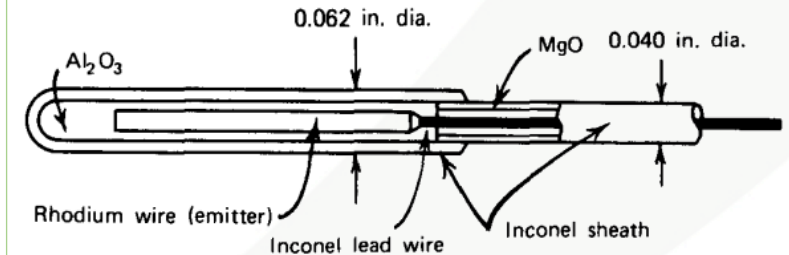
Cámaras de fisión

- Capaz de captar la **componente debida al flujo de neutrones** y la de **radiación gamma**.
- **Dos electrodos: exterior (cátodo) e interior (ánodo, material fisible)**.
- Para que la **corriente** inducida por los neutrones sea **proporcional a la tasa** de fisión, debe trabajar en **régimen de saturación**.
- Se suelen usar **U-235** y **U-238**.



SPNDs (Self-Powered Neutron Detectors)

- Los SPNDs están compuestos por un material que se **activa** con la **radiación** y es capaz de **emitir partículas por desintegración beta o gamma**.
- **No** es necesario aplicar un **voltaje externo**.
- Siempre operan en **modo de corriente**.

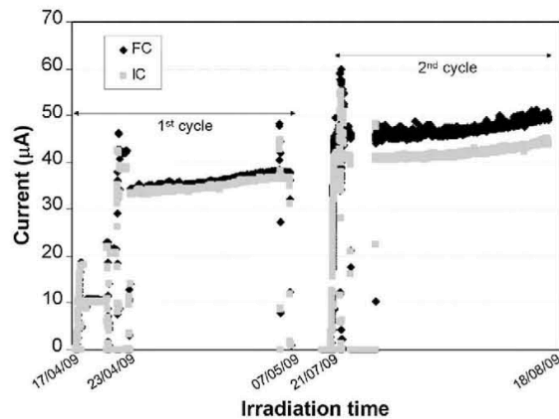


- El **cable** usado suele tener **una influencia importante**, por lo que se suelen usar dos cables de señal.

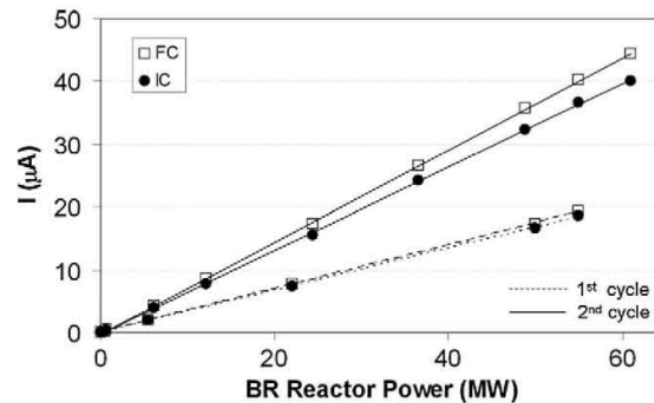
3. Estudios previos

Cámaras de fisión

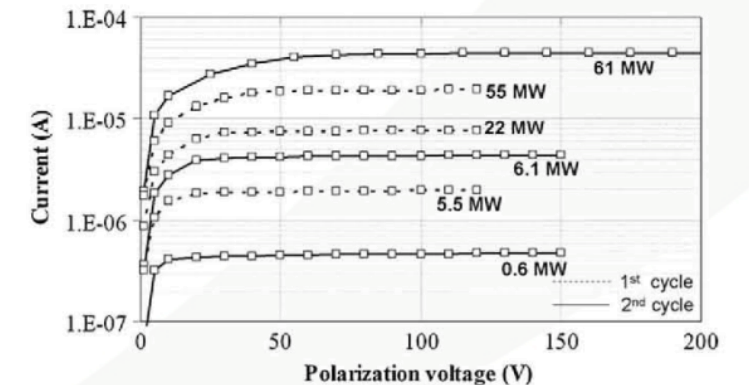
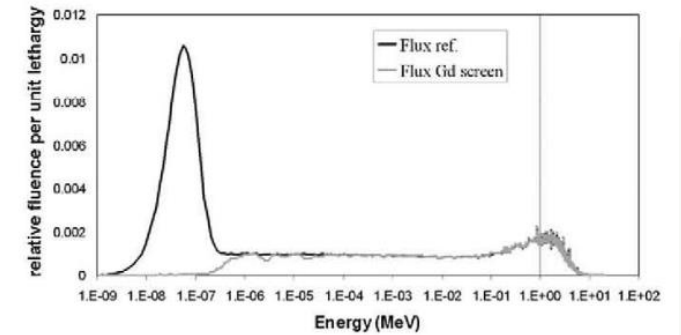
- El **CIEMAT** llevó a cabo varios estudios para la selección de detectores, probando una **cámara de ionización junto a una cámara de fisión** en el reactor **BR2** (SCK-CEN, Bélgica), bajo un **flujo de neutrones** y de **radiación gamma**.
- Para **filtrar** la componente térmica del reactor se usó un **recubrimiento de gadolinio** (Gd) en las cámaras.
- Se aplicó una dosis gamma de 4×10^{10} Gy y un flujo de neutrones rápidos de 4×10^{20} n/cm².



En cuanto a la **corriente** medida, las **diferencias** pueden deberse a la componente de los neutrones.



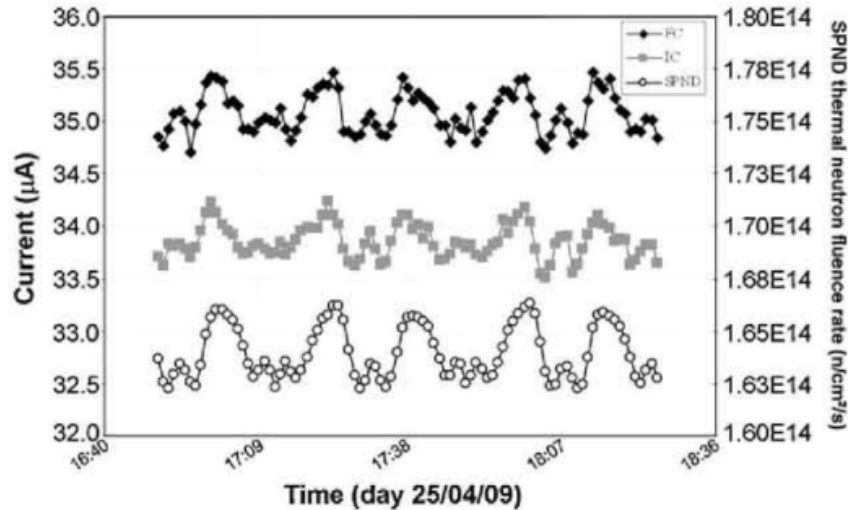
Se comprobó también la **linealidad**, cuya diferencia entre ciclos se debe a la diferencia entre los canales y los niveles de flujo de neutrones.



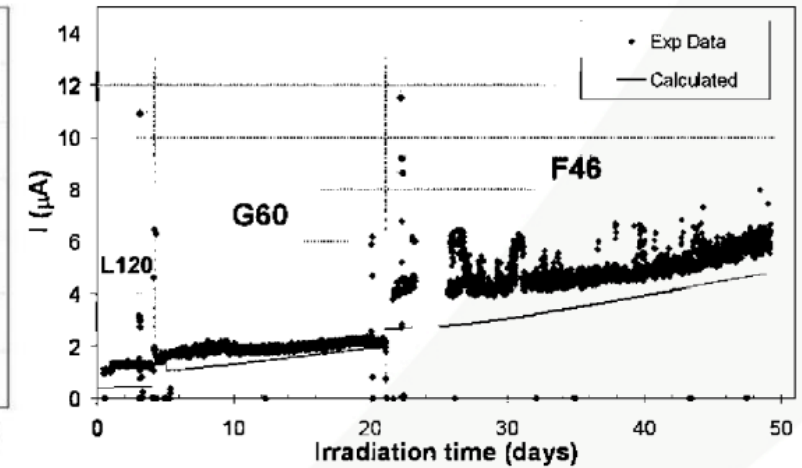
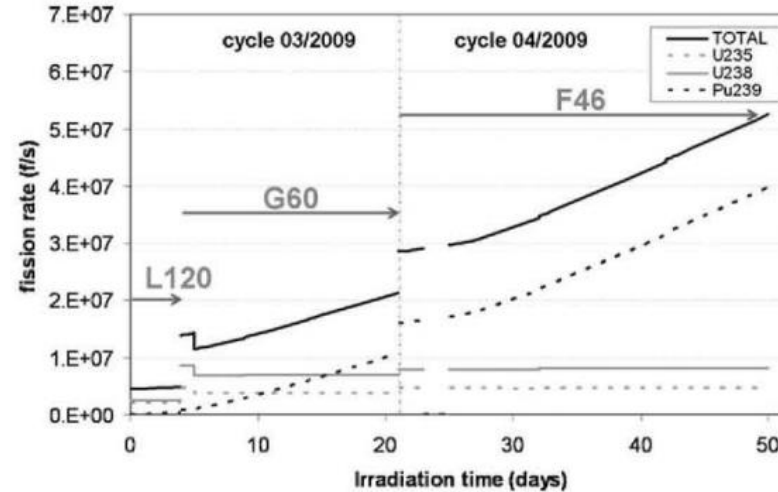
En cuanto a la **característica IV**, se obtuvo lo esperado, comprobando que el **voltaje de ruptura** es de **340 V**.

3. Estudios previos

Cámaras de fisión



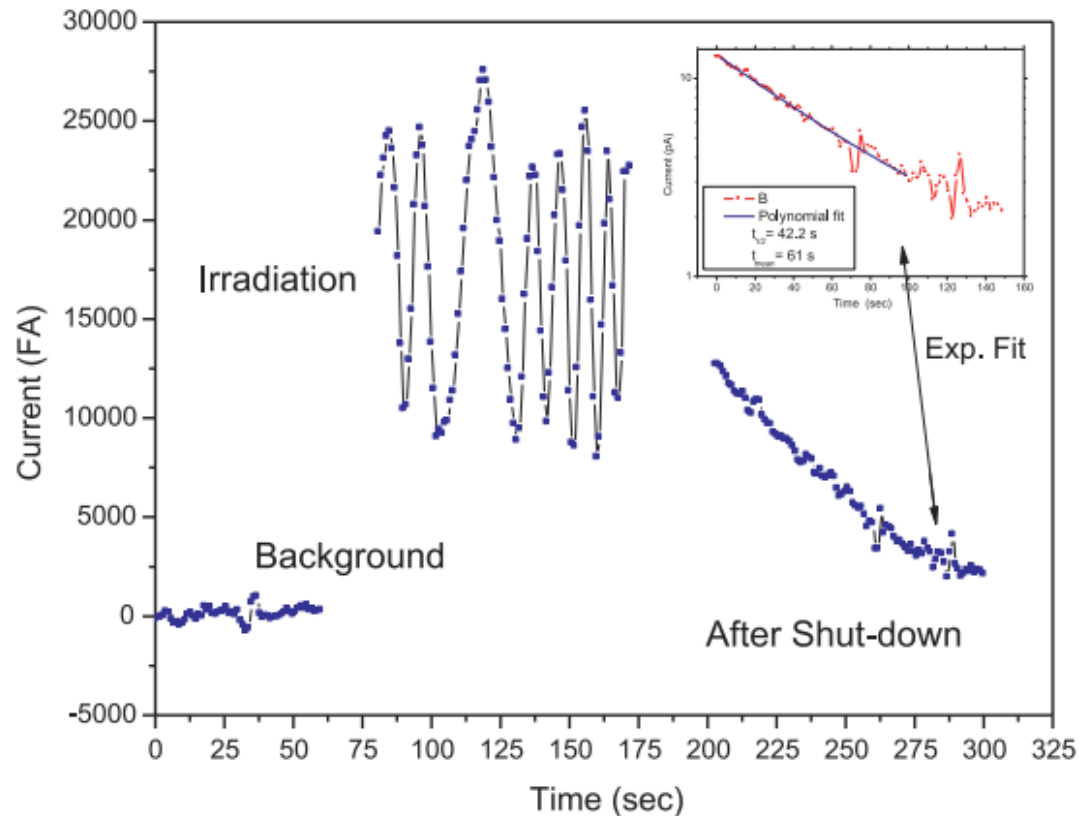
También se comprobó la capacidad para **detectar fluctuaciones** en el flujo, con un resultado satisfactorio.



Al no tener las condiciones exactas esperadas en el proyecto, se calculó una **predicción** del comportamiento de este tipo de sensores en este entorno y se **comparó** esta estimación **con los resultados reales**.

3. Estudios previos

SPNDs (Self-Powered Neutron Detectors)



Se realizaron pruebas con la fuente de neutrones rápidos TAPIRO, que se encuentra en ENEA Casaccia (Italia).

Se busca que tenga la **menor sensibilidad posible** ante la **radiación gamma**.

Aunque algunos resultados con rodio muestran una buena adecuación a lo esperado en ciertas pruebas, es necesario realizar un **estudio más profundo**, ya que estos sensores **dependen** en gran parte del **material** usado (algunos de los más típicos son el rodio, el cobalto y el vanadio), y **aún no se ha encontrado una opción** definitiva.

4. Estado de la tesis: instalaciones

Se están realizando estudios en colaboración con algunos centros:

- **Parque Tecnológico de las Ciencias de la Salud (PTS):** LINAC Siemens Artiste, capaz de generar haces de fotones de 6 MV en un campo de $20 \times 20 \text{ cm}^2$.
- **Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT).**
- **Centro Nacional de Aceleradores (CNA):**
Acelerador Tandem, capaz de generar un haz de protones de 5.6 MeV.
Se acaba de instalar una fuente de neutrones térmicos de hasta 6 MeV, HISPANoS (Hispanis Neutron Source).



Centro Nacional de Aceleradores (CNA)



LINAC (PTS)

4. Estado de la tesis: proyectos del grupo

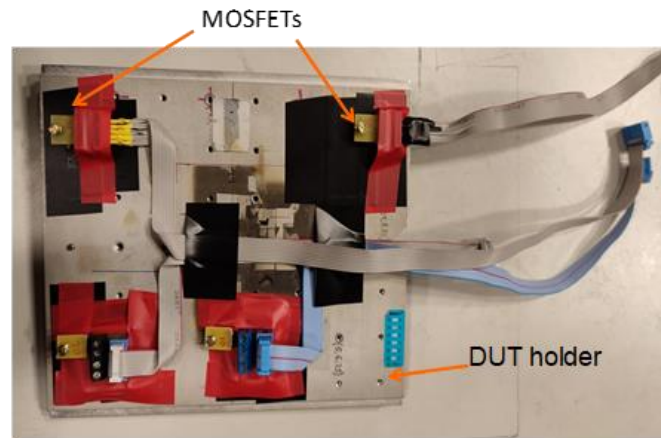
- Se están realizando pruebas con **protones** en el **CNA** usando la unidad lectora desarrollada por nuestro grupo de investigación y **MOSFET comerciales** como sensores, siendo el modelo escogido el **3N163**.
- Otro proyecto del grupo consiste en dosímetros de pequeño tamaño con tecnología NFC.



Irradiation chamber

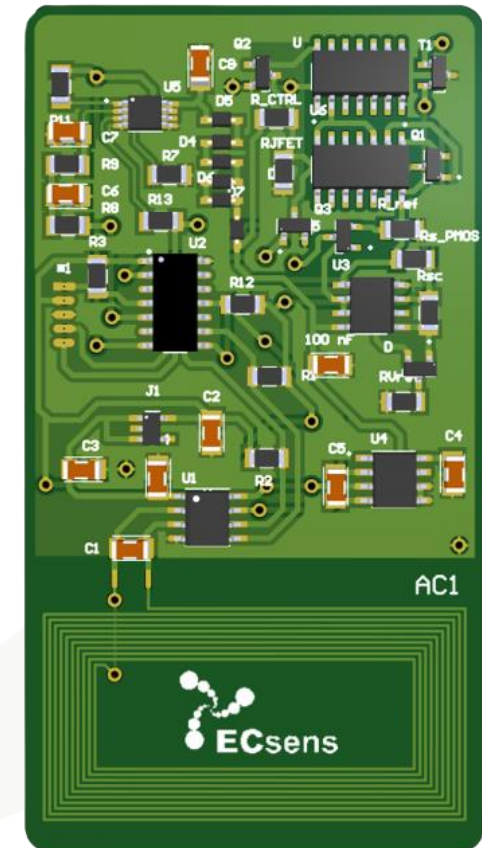
MOSFET reader unit

PC to remote control



MOSFETs

DUT holder



5. Conclusiones

- El **módulo STUMM** jugará un papel importante en la **validación** de una gran cantidad de modelos y estimaciones, y servirá para **caracterizar** el flujo durante la fase de puesta en marcha.
- Aunque existen estudios sobre los sensores que se usarán, **las condiciones que se espera conseguir son distintas a las que se tienen en otras instalaciones.**
- En los **próximos meses** se espera tener un gran **avance en la elección y el conocimiento de los sensores que se incluirán** para poder realizar pruebas más fiables más adelante. Estos se podrán ir caracterizando en otras fuentes.

Modelización de los sensores del STUMM (Start-up and Monitoring Module)

Juan Antonio Moreno Pérez
juanantoniomp@ugr.es

Migue Ángel Carvajal Rodríguez (UGR) | Rafael Vila Vázquez (CIEMAT)

THE KEY TO THE FUTURE



Aplicaciones de la instalación DONES en Biomedicina

Cristina Méndez Malagón
cmendez7@ugr.es

M. Carmen Ruiz Ruiz (UGR) | Javier Quiñones Diez (CIEMAT)

THE KEY TO
THE FUTURE



DONES y Biomedicina

¿Otras aplicaciones?



Fuente de neutrones ↔ Biomedicina

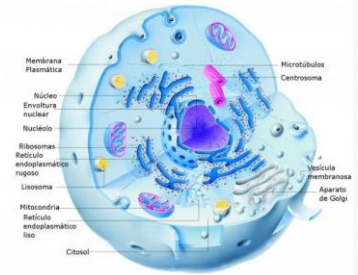
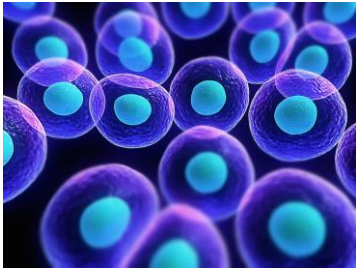
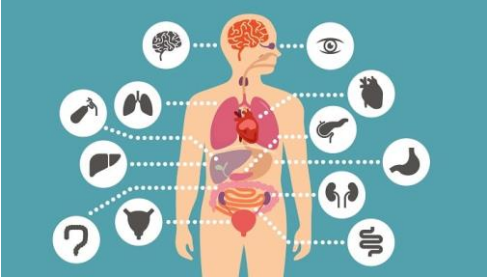
DONES y Biomedicina

Efectos de los neutrones en el tejido biológico

NEUTRONES



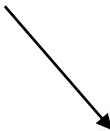
Radiación de tipo **ionizante**



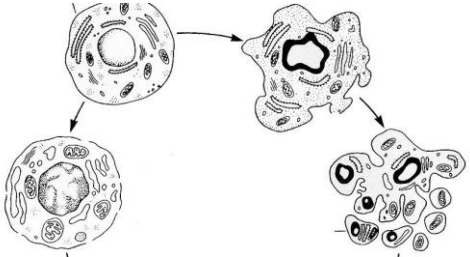
Alta LET (Lineal Energy Transfer)



Lesiones no reparables en el ADN



Muerte celular



Alteraciones genéticas



DONES y Biomedicina

Neutrones como **herramienta terapéutica** frente a enfermedades humanas

→ **Cáncer**



Quimioterapia
Radioterapia
Cirugía

→

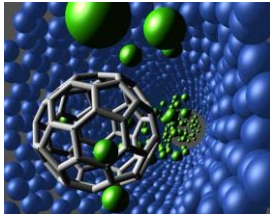
Se necesitan **nuevas estrategias terapéuticas**

→

Múltiples líneas de investigación actualmente

Immunoterapia

Nanopartículas



Etc.

Terapia por haz de partículas

~~FOTONES~~ vs

- Protones
- **Neutrones**
- Iones de Helio
- Iones de Carbono

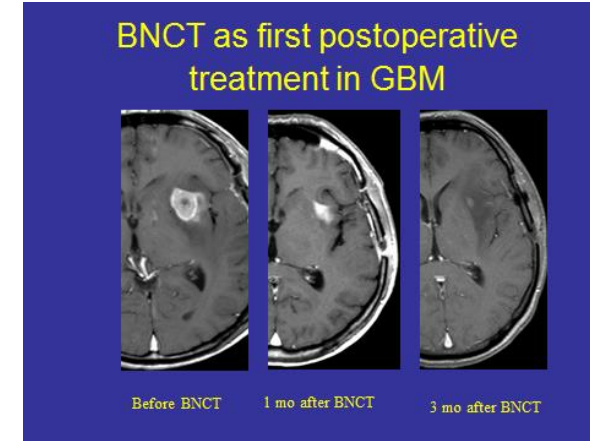
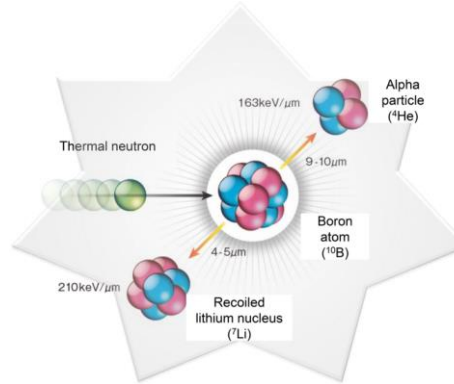
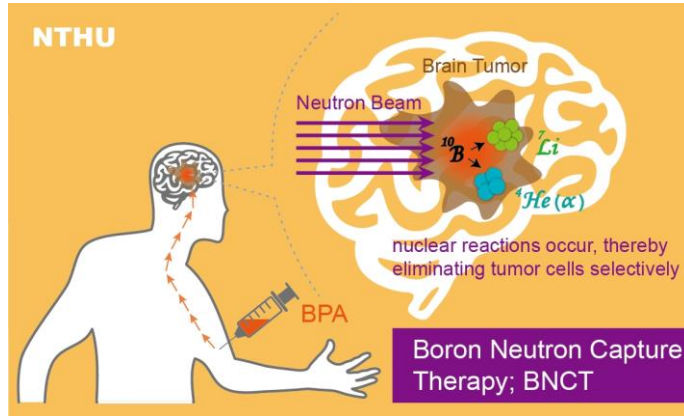
Propiedades físicas beneficiosas frente al tratamiento por radioterapia convencional

↓ **Dosis de radiación**

↓ **Volumen irradiado**



Terapia de Captura de Neutrones por Boro (BNCT)



Otras aplicaciones de los neutrones en Biomedicina

- Protección radiológica
- Estudio del efecto de alta tasas de dosis: riesgos en humanos en misiones espaciales

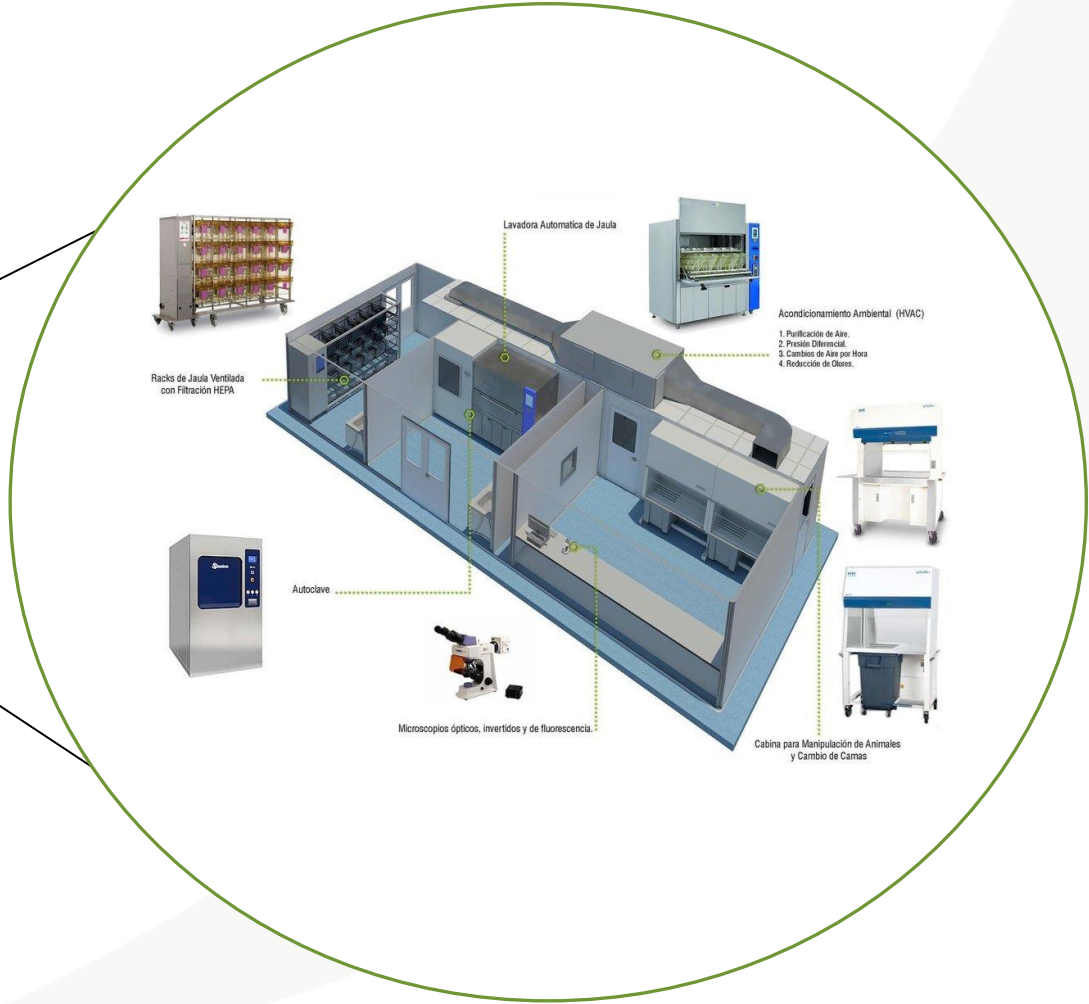
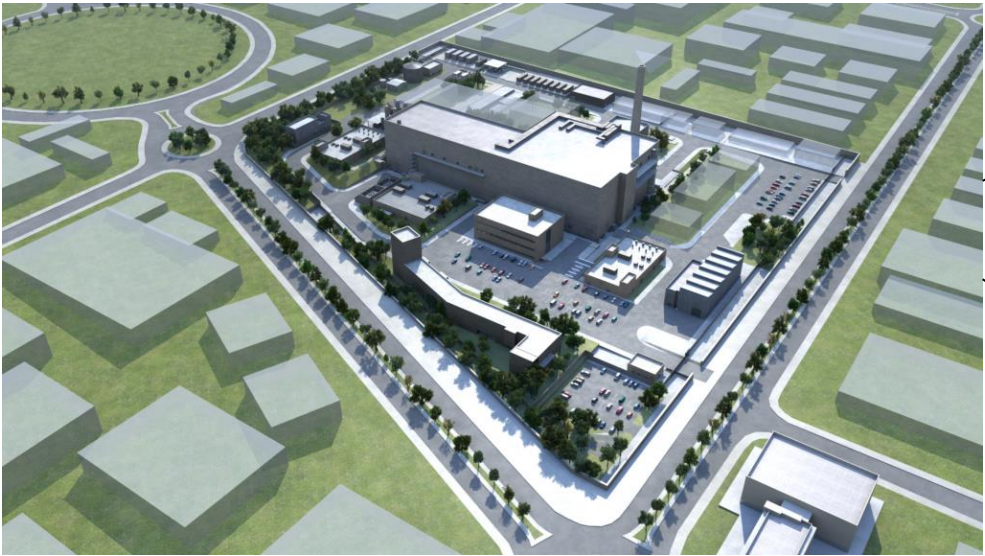
LIMITACIÓN

Nº de fuentes de neutrones disponibles para experimentación biomédica

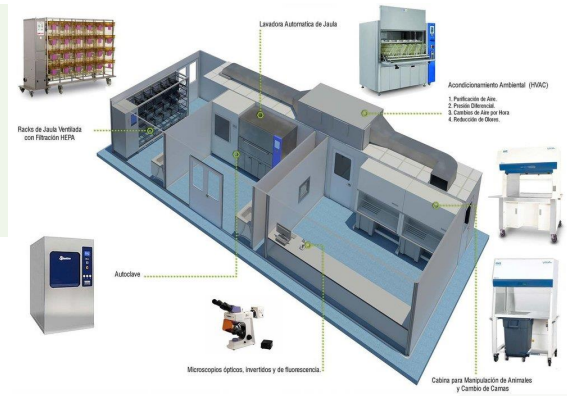


DONES abre un gran camino hacia el avance y mejora en la investigación de las aplicaciones biomédicas de los neutrones.

Justificación del proyecto



Justificación del proyecto



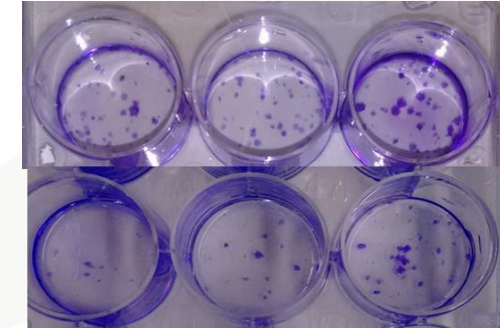
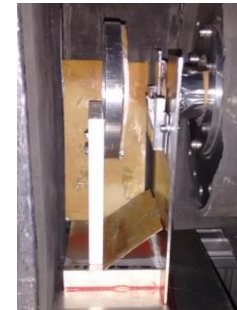
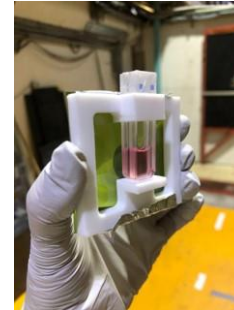
Un laboratorio de radiobiología en la instalación DONES permitiría:

- Estudiar los **efectos biológicos a nivel celular y molecular** de las radiaciones con distintas partículas.
- Realizar estudios para la planificación de **tratamientos con neutrones** y para **protección radiológica**.
- Estudiar los efectos de **alta tasa de dosis de radiación** en organismos biológicos y obtener datos para determinar el riesgo en humanos en misiones espaciales.
- Ensayar posibles **compuestos químicos** como **protectores** ante la radiación de neutrones.

¿Dónde nos encontramos y hacia dónde vamos?

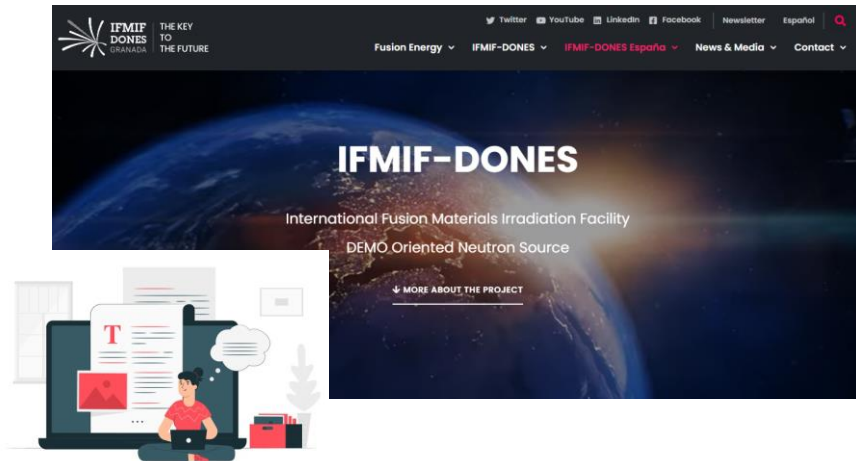


Experiencia del grupo: laboratorio de radiobiología en ILL (Institut Laue-Langevin), Grenoble (Francia)

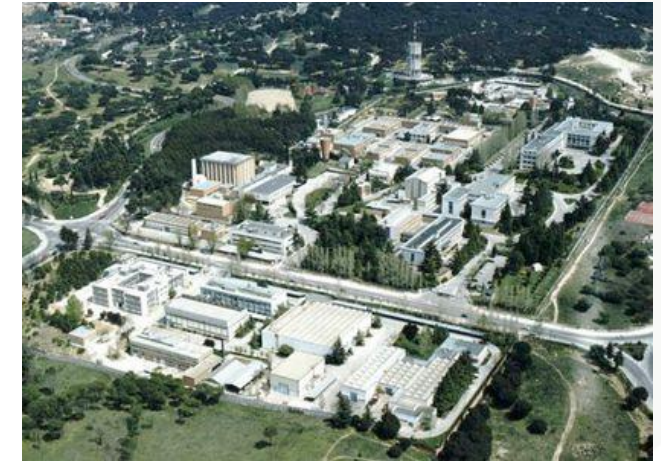


Institut Laue-Lanvegin (Grenoble, Francia)

¿Dónde nos encontramos y hacia dónde vamos?



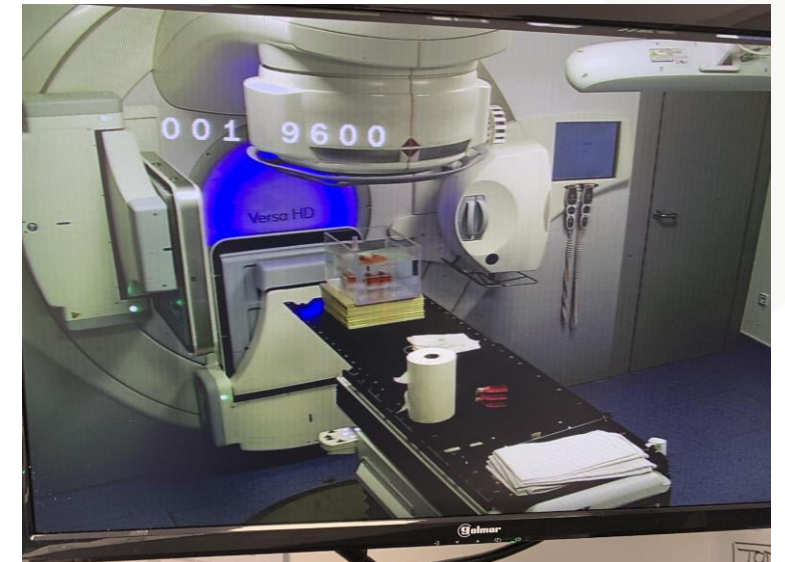
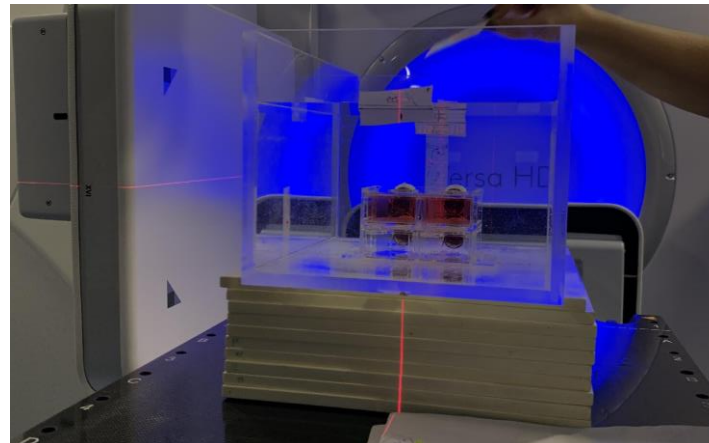
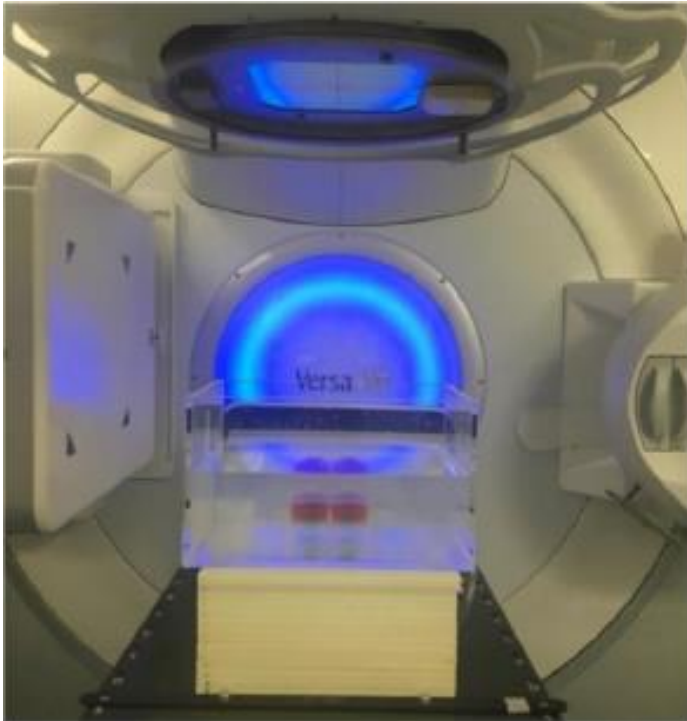
Curso Supervisores IIRR
CIEMAT



¿Dónde nos encontramos y hacia dónde vamos?

Puesta a punto de experimentos *in vitro* con líneas celulares

Irradiaciones en LINAC HUVN-Granada

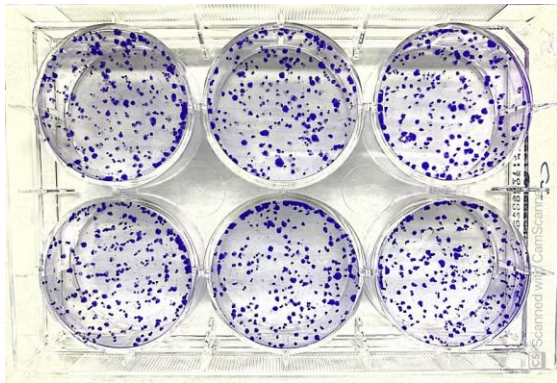


Experimentos de referencia

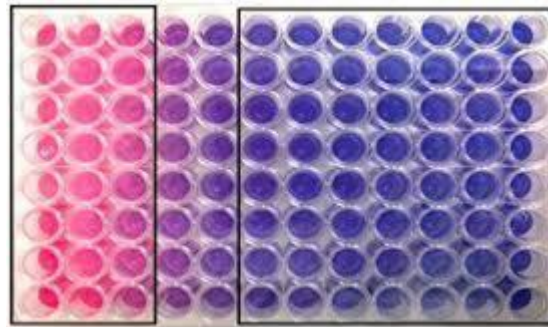
¿Dónde nos encontramos y hacia dónde vamos?

Puesta a punto de experimentos *in vitro* con células tumorales

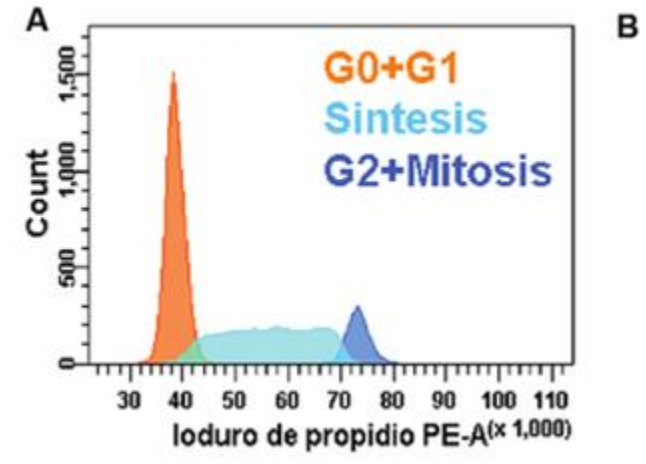
Irradiación de diferentes líneas **celulares sanas y tumorales** (A375, CCD10, Cal33, A172, SQ20...)



Ensayos de clonogenicidad



Ensayos de viabilidad/proliferación celular



Estudio del ciclo celular y muerte celular

- Estudiar cómo responden las células a la radiación (muerte, supervivencia...)
- Obtener datos de interés como RBE con diferentes radiaciones/dosis

¿Dónde nos encontramos y hacia dónde vamos?

Futuros experimentos

Planificación de experimento de irradiación de células con neutrones en el **CIEMAT** (LMRI-3)



2023: campaña de experimentos de irradiaciones con neutrones térmicos en **ILL (Institute Laue-Langevin)** (Grenoble)

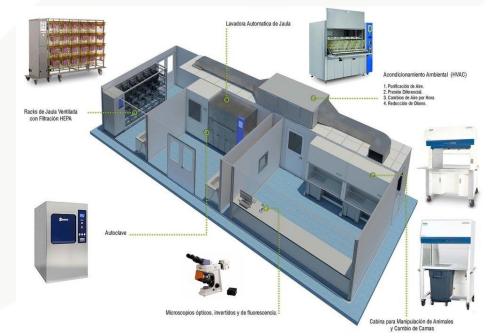
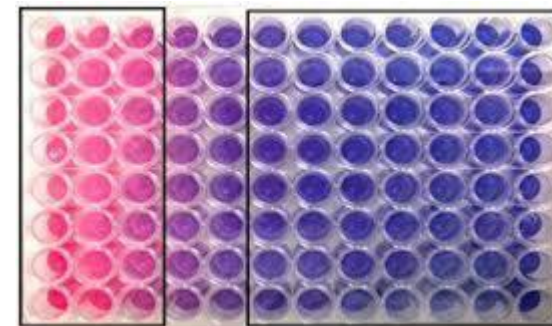
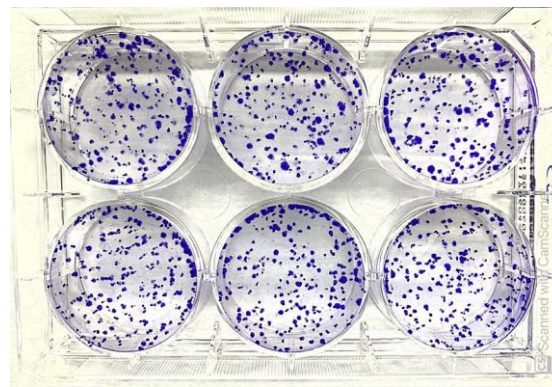


¿Dónde nos encontramos y hacia dónde vamos?

Objetivo final



Extrapolar experimentos e infraestructuras necesarias
a DONES



Conclusiones

- La instalación DONES podrá ser aprovechada para otros campos y aplicaciones.
- El **campo de la Biomedicina** ha conseguido “su hueco” en DONES.
- Disponer de un **laboratorio de radiobiología** en el interior de la instalación IFMIF-DONES permitirá obtener datos importantes para diferentes **finés biológicos**.
- Será importante **diseñar y poner a punto los experimentos biomédicos** que se puedan realizar una vez construida la instalación y los requisitos técnicos para los mismos.





C Ruiz-Ruiz, MJ Ruiz-Magaña, C Méndez-Malagón P Álvarez, M Porras-Quesada, S Ricci

Departamento de Bioquímica y Biología Molecular III e Inmunología &

Centro de Investigación Biomédica, UGR

I Porras, J Praena, F Arias de Saavedra, P Torres-Sánchez, M Pedrosa-Rivera, M E López-Melero, A. Verdera

Departamento de Física Atómica, Molecular y Nuclear, UGR

Javier Quiñones Diez CIEMAT



UNIVERSIDAD DE GRANADA

Ciemat



Cátedra Universitaria Neutrones para Medicina



Aplicaciones de la instalación DONES en Biomedicina

Cristina Méndez Malagón
cmendez7@ugr.es

M. Carmen Ruiz Ruiz (UGR) | Javier Quiñones Diez (CIEMAT)

THE KEY TO
THE FUTURE



Metodología experimental y numérica para el estudio hidrológico de ciertos tipos de sistemas urbanos de drenaje sostenible, susceptibles de ser usados en clima Mediterráneo.

Francisco Sánchez Cordero
f.sanchezcordero@ugr.es

Leonardo S. Nanía Escobar (UGR) | Moisés Weber Suárez (CIEMAT)

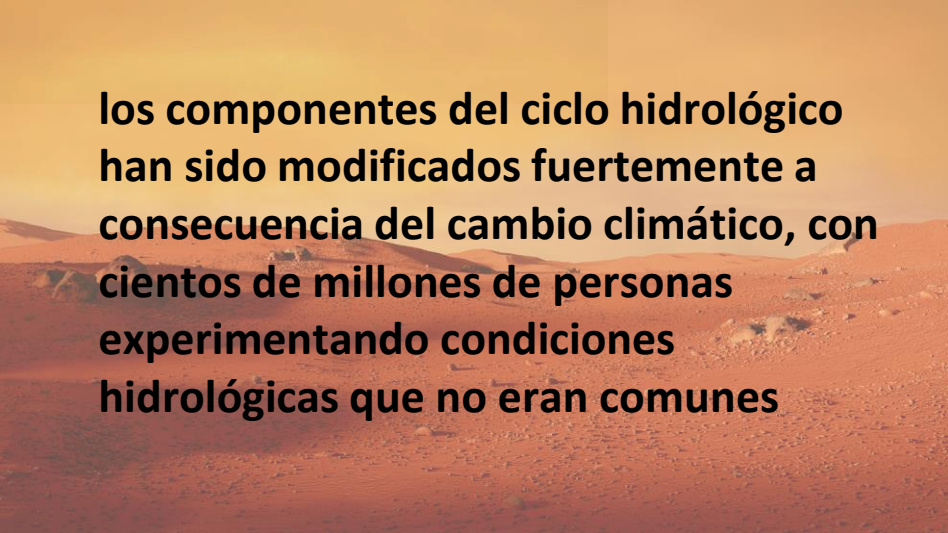
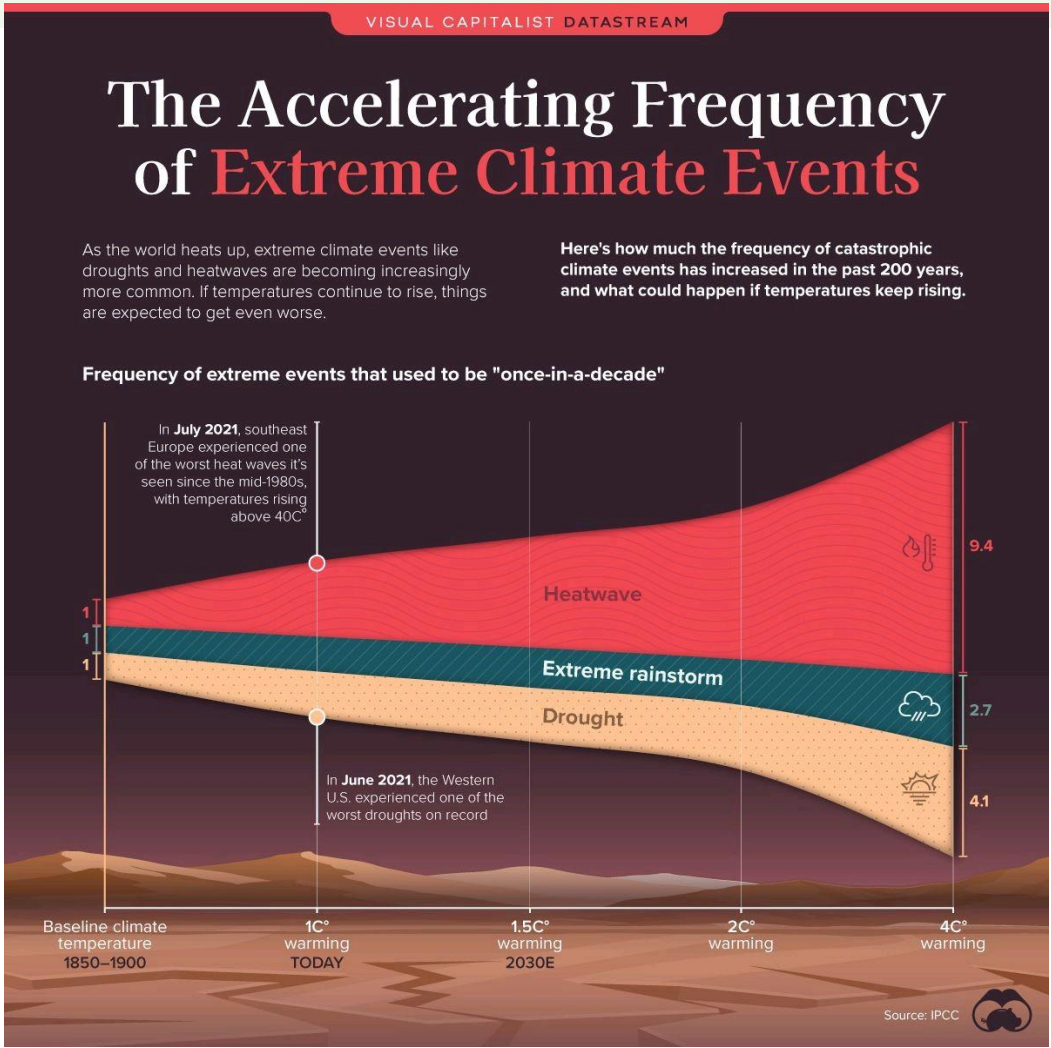
THE KEY TO THE FUTURE



NATURE-BASED SOLUTIONS

- Las soluciones basadas en la naturaleza son acciones inspiradas, apoyadas y copiadas de la naturaleza
- han causado mayor atención en los últimos años por su capacidad de **adaptación y mitigación** hacia la contaminación de las ciudades, y otros beneficios...

Esta idea es una medida de mitigación y adaptación al cambio climático



los componentes del ciclo hidrológico han sido modificados fuertemente a consecuencia del cambio climático, con cientos de millones de personas experimentando condiciones hidrológicas que no eran comunes

En la Cuenca del Mediterráneo (Rama et al., 2022)

Synthesis of observed and projected (1.5°C and 4.0°C global warming levels) changes in climate drivers affecting the Mediterranean region

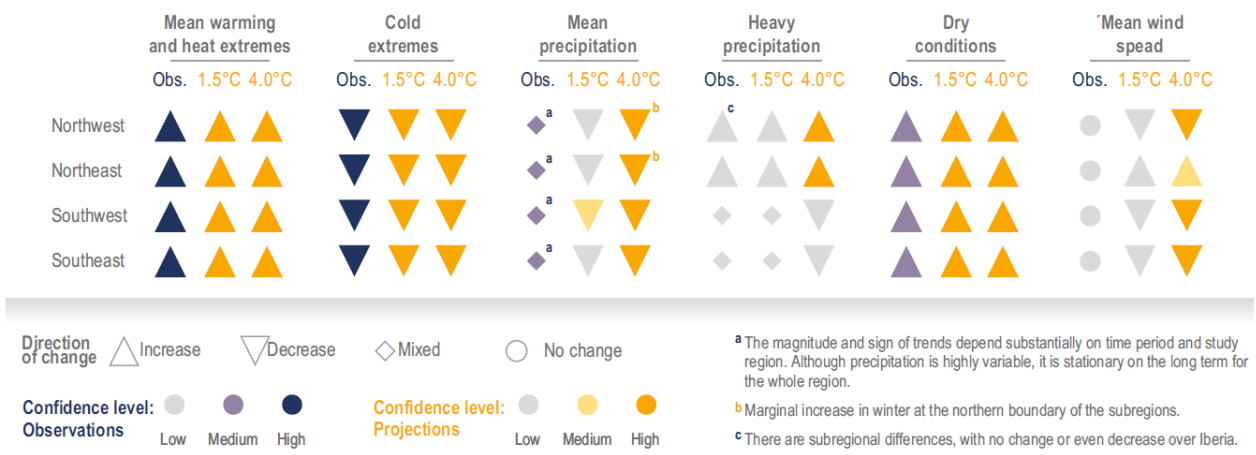


Figure CCP4.3 | Observed and projected (at global warming levels of 1.5°C and 3°C) direction of change of climate drivers and confidence levels for Mediterranean land sub-regions.

BENEFICIOS

- Mejora el entorno, haciendo mas atractivo
- Combaten la impermeabilización de las ciudades
- Favorece a crear ciudades mas resilientes
- Incrementa el secuestro de carbono del entorno

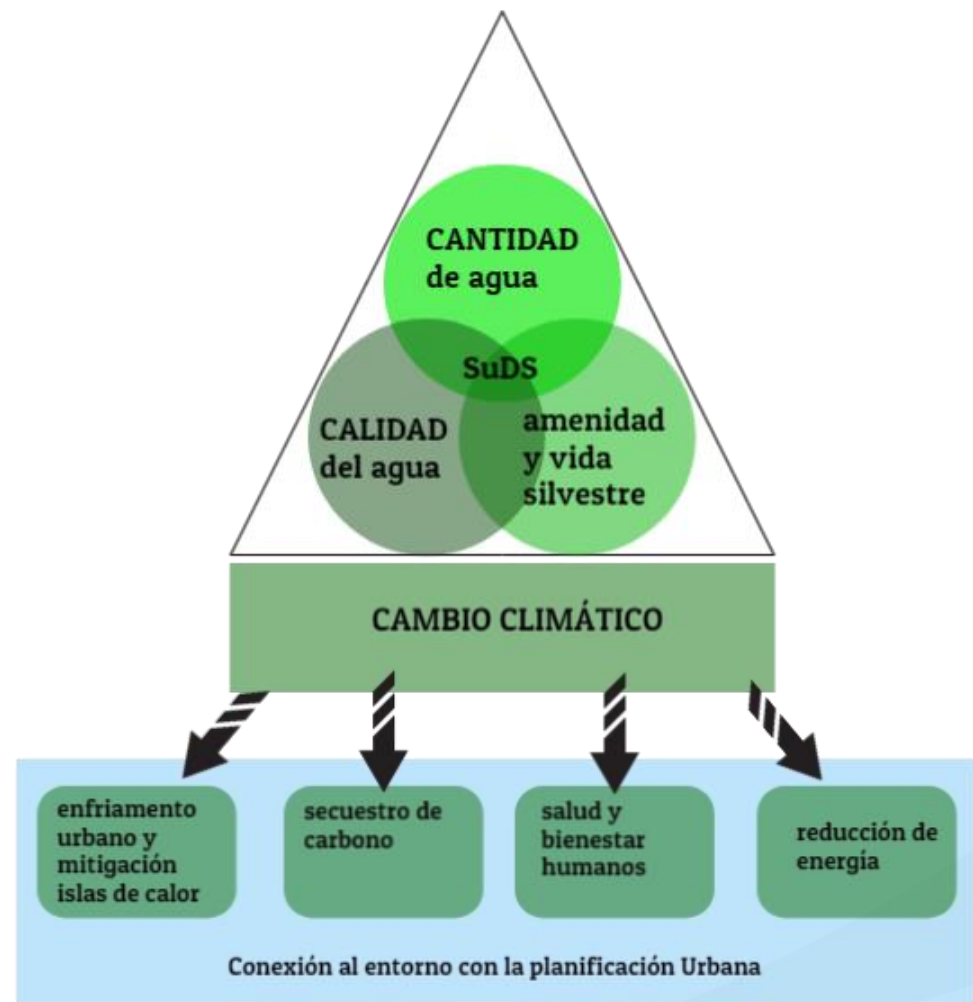


sistemas de bioretención y pavimentos permeables en Sevilla

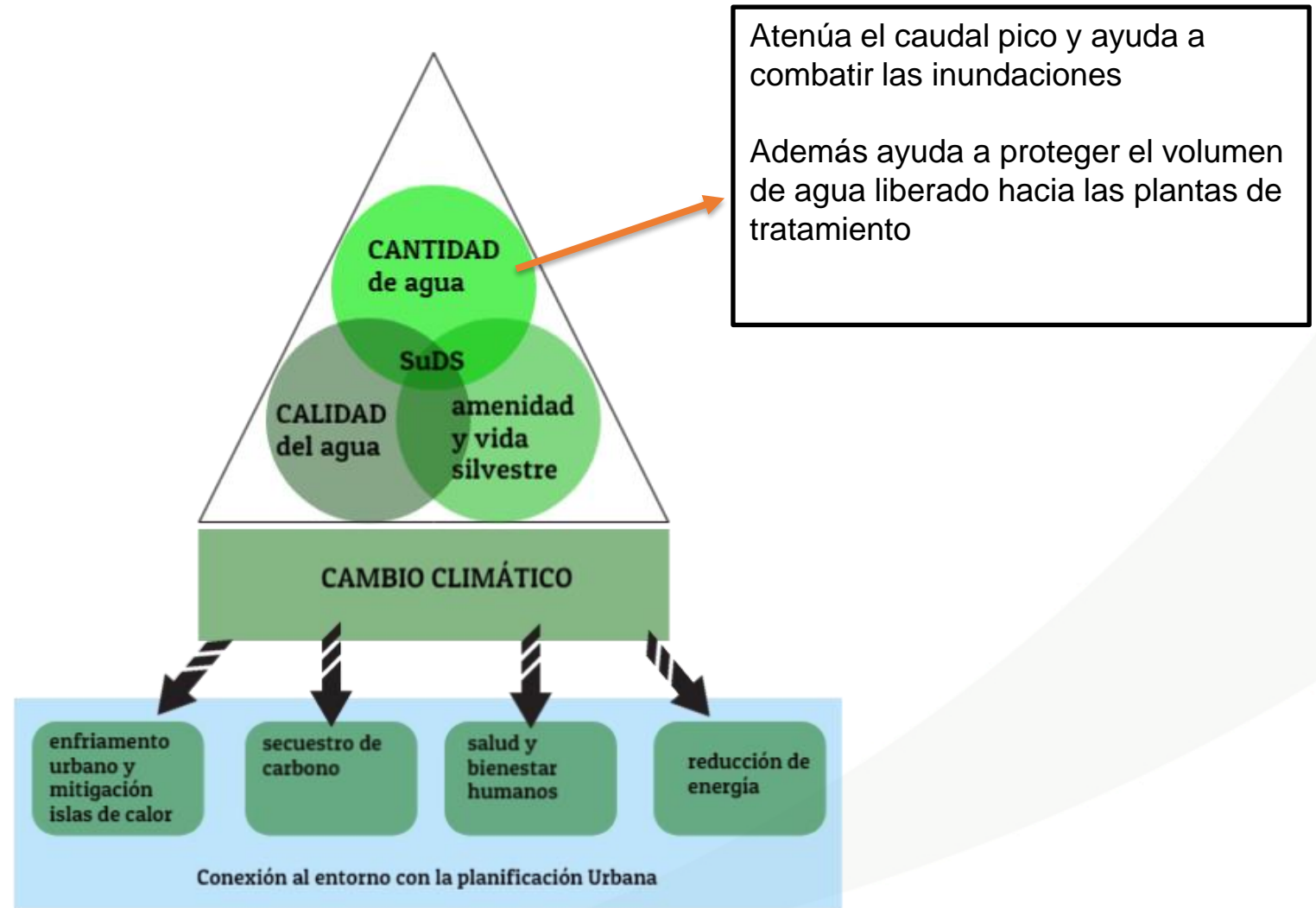


Cubiertas verdes en Barcelona

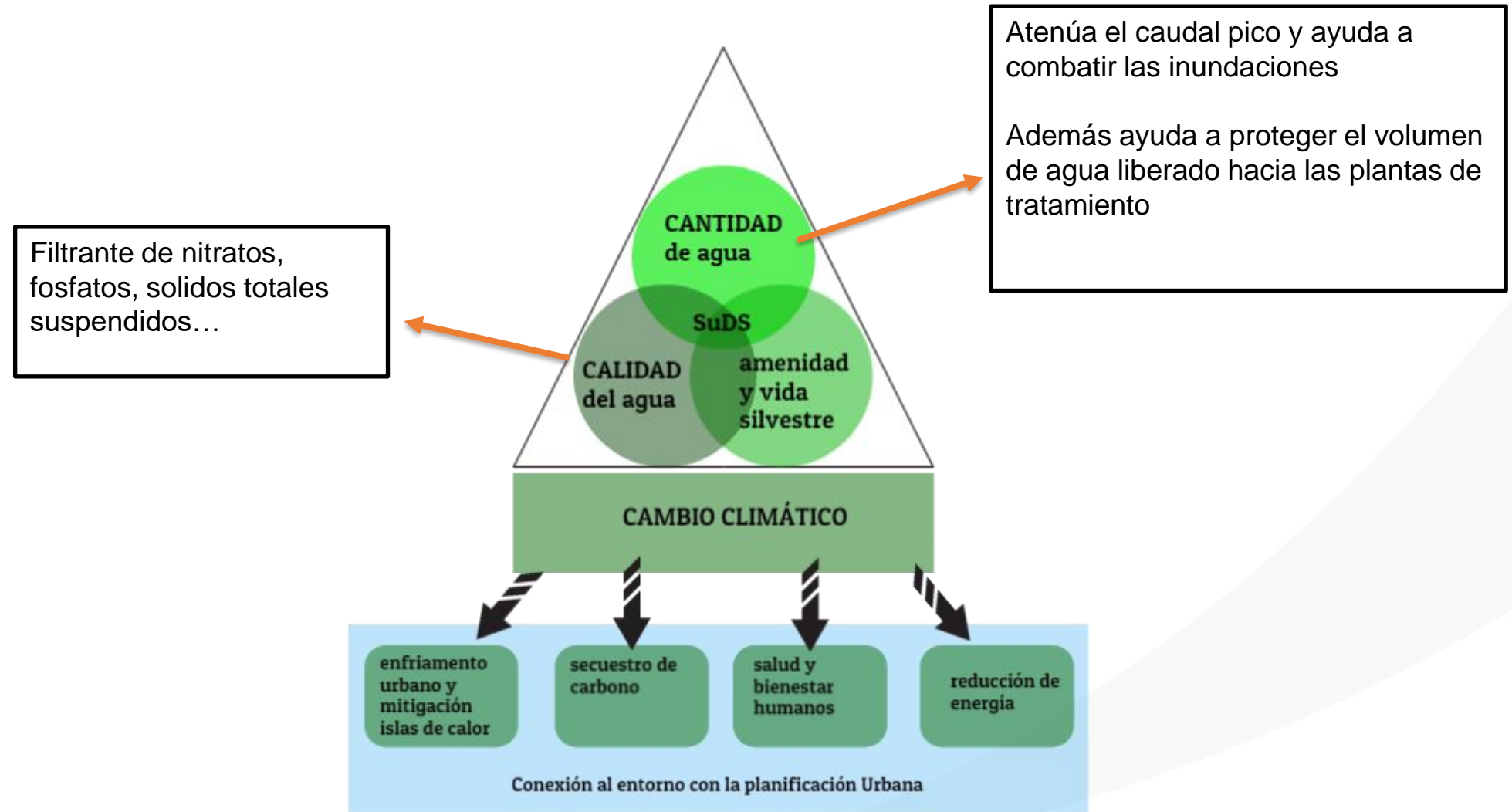
BENEFICIOS



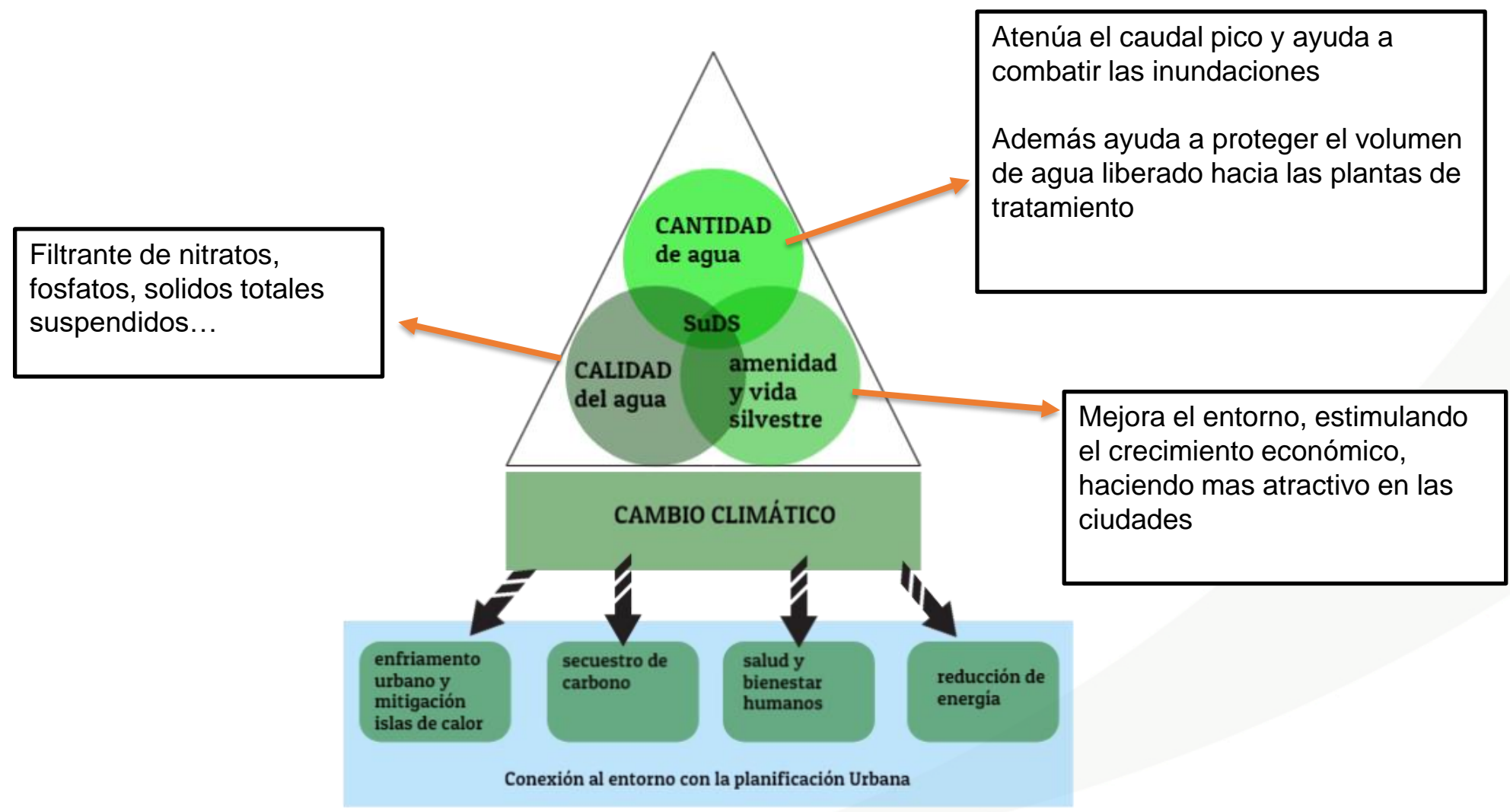
BENEFICIOS



BENEFICIOS



BENEFICIOS



VARIOS TIPOS DE SISTEMAS SuDS

CUBIERTAS ECOLÓGICAS



JARDINES VERTICALES



PAVIMENTOS PERMEABLES



DEPÓSITOS



ECOPARKING



CANALES Y HUMEDALES



ECOCUNETAS



Fuente: <https://drenajesostenible.com/soluciones/>

CAMPOS DEPORTIVOS



DRENAJE FERROCARRILES



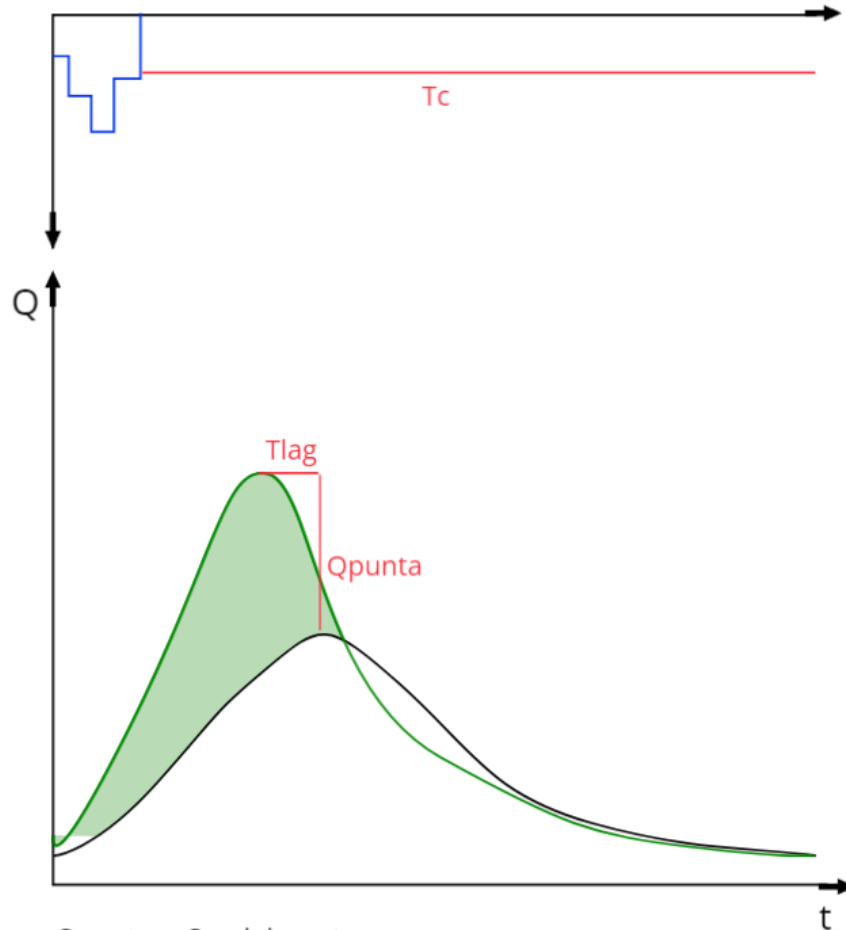
SUMIDEROS



OTRAS APLICACIONES



BENEFICIOS



Qpunta = Caudal punta
 Tlag = tiempo de desfase
 Tc = tiempo de concentración

«Artículo 126 ter. *Criterios de diseño y conservación para obras de protección, modificaciones en los cauces y obras de paso.*

Además del cumplimiento de los requisitos previstos en los dos artículos anteriores con carácter general, se establecen los siguientes criterios para el diseño de las actuaciones en dominio público hidráulico:



BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO



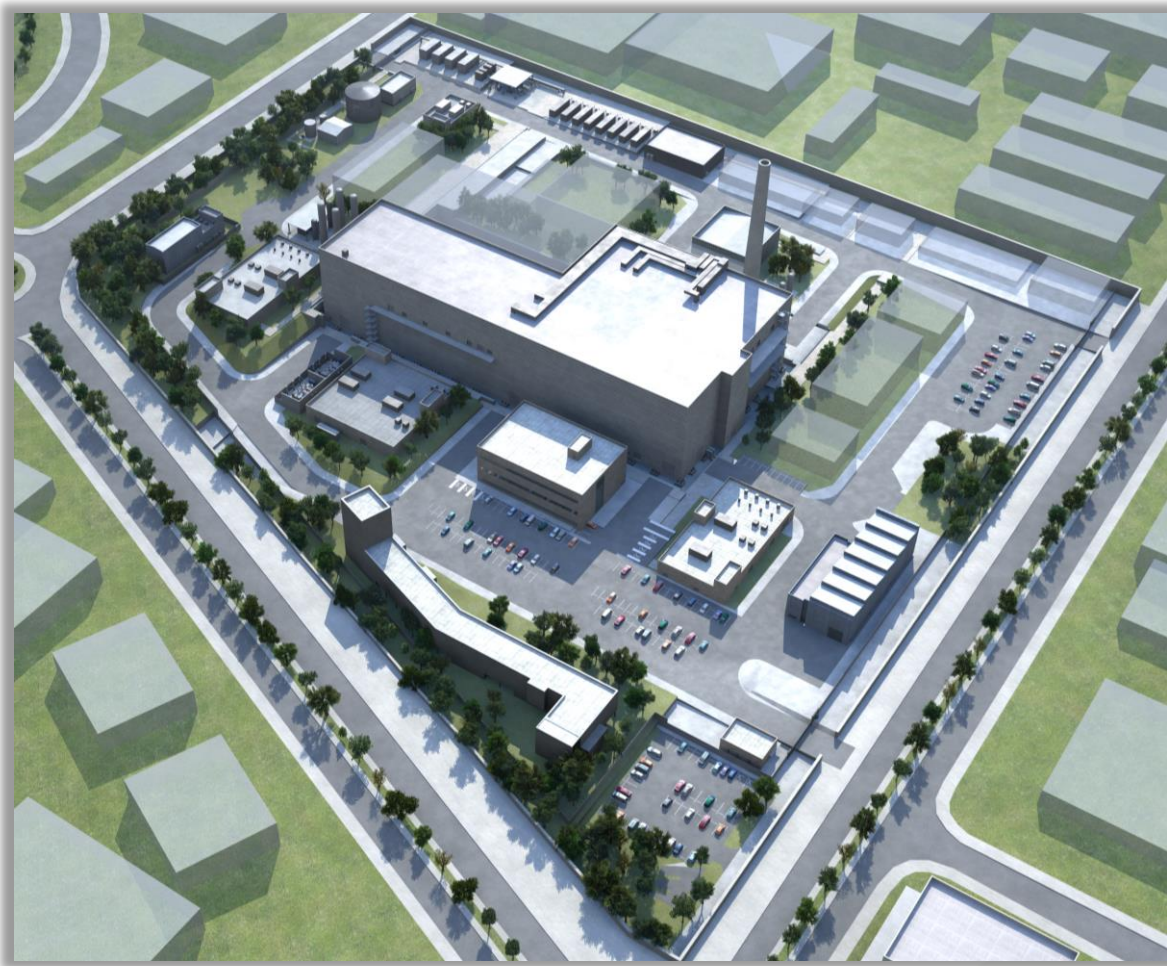
Núm. 314

Jueves 29 de diciembre de 2016

Sec. I. Pág. 91153

7. Las nuevas urbanizaciones, polígonos industriales y desarrollos urbanísticos en general, deberán introducir sistemas de drenaje sostenible, tales como superficies y acabados permeables, de forma que el eventual incremento del riesgo de inundación se mitigue. A tal efecto, el expediente del desarrollo urbanístico deberá incluir un estudio hidrológico-hidráulico que lo justifique.»

PROYECTO IFMIF-DONES





UNIVERSIDAD DE GRANADA

LABORATORIO HIDROLÓGICO PARA SISTEMAS DE DRENAJE SOSTENIBLE EN ESCÚZAR



Infraestructura básica para Laboratorio Hidrológico de Sistemas de Drenaje Sostenible

Proyecto: Acciones para la implementación de IFMIF-DONES
(International Fusion Materials Irradiation Facility - DEMO Oriented NEutron Source) en Escúzar (Granada)
Referencia: UGR_IFMIF-DONES
Presupuesto: 16.300.000 euros



OBJETIVO

Estudio de las variables que permitan dotar a las construcciones actuales y futuras, de un sistema de drenaje pluvial eficiente y sostenible, adaptado a las especiales condiciones hidrológicas y climatológicas.

CUBIERTAS VERDES / GREEN ROOFS



Algunos beneficios

- control de escorrentía y almacenamiento de lluvia
- absorber las emisiones contaminantes como el CO₂
- mejorar la calidad del aire
- reducir la exposición al ruido
- mejorar de calidad de agua obtenida de la lluvia
- reducción de consumo de energía en los edificios al actuar como aislante térmico

CUBIERTAS VERDES / GREEN ROOFS



Inconveniente?

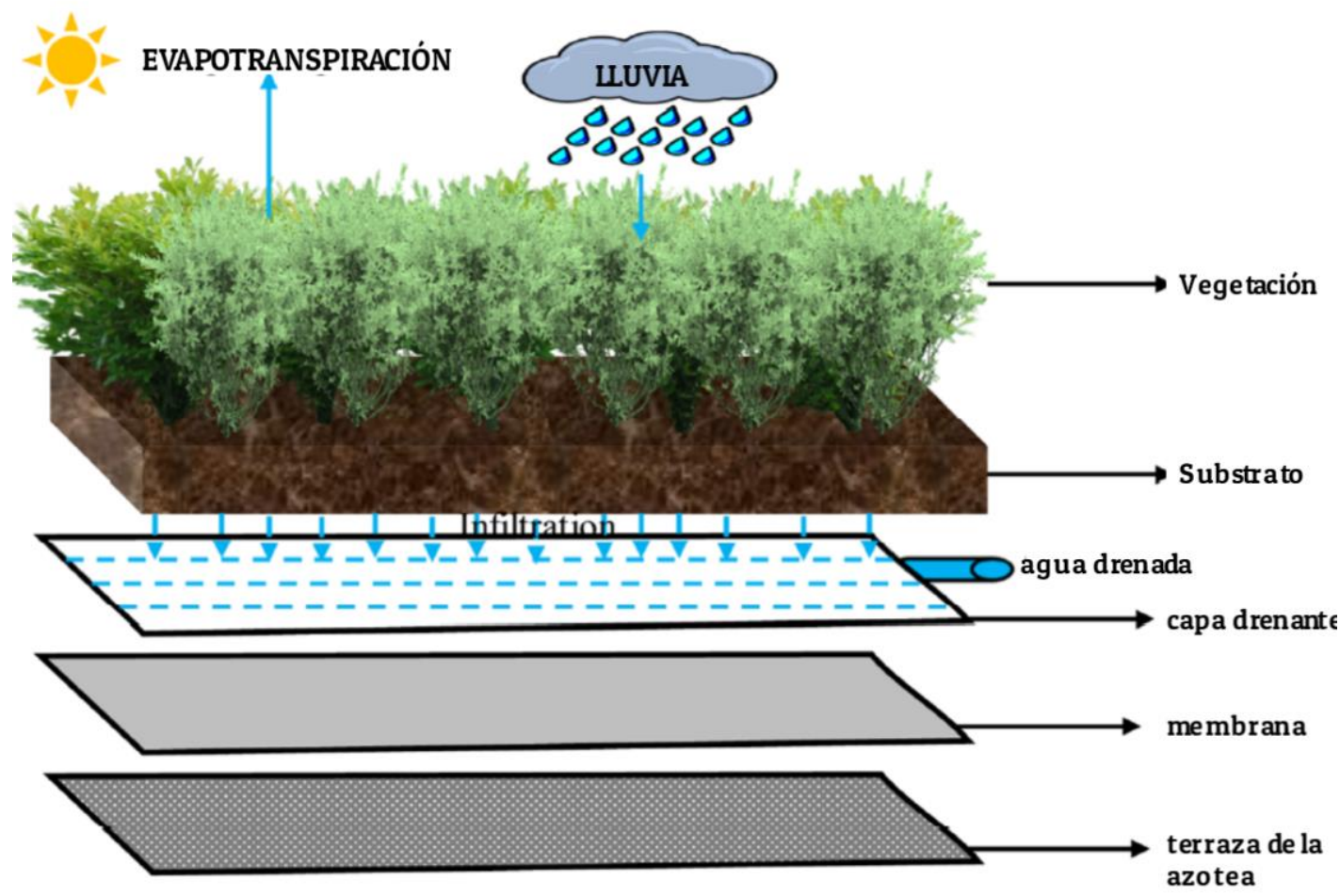
- Su efectividad y sostenibilidad depende estrictamente de las condiciones locales en donde se desea implantar el sistema
- NO se puede basar el uso en estudios desarrollados en otros lugares con diferentes variables climatológicas e hidrológicas.
- NO todos los edificios son aptos para su uso debido al peso adicional que se emplea.

CUBIERTAS VERDES / GREEN ROOFS



Gap's headquarters in San Bruno, California. Constructed in 1997, it is covered native indigenous grasses and wildflowers, cultivated from native grasslands in San Francisco.
Photograph: Steve Proehl/Getty Images

CUBIERTAS VERDES / GREEN ROOFS



CLASIFICACIÓN

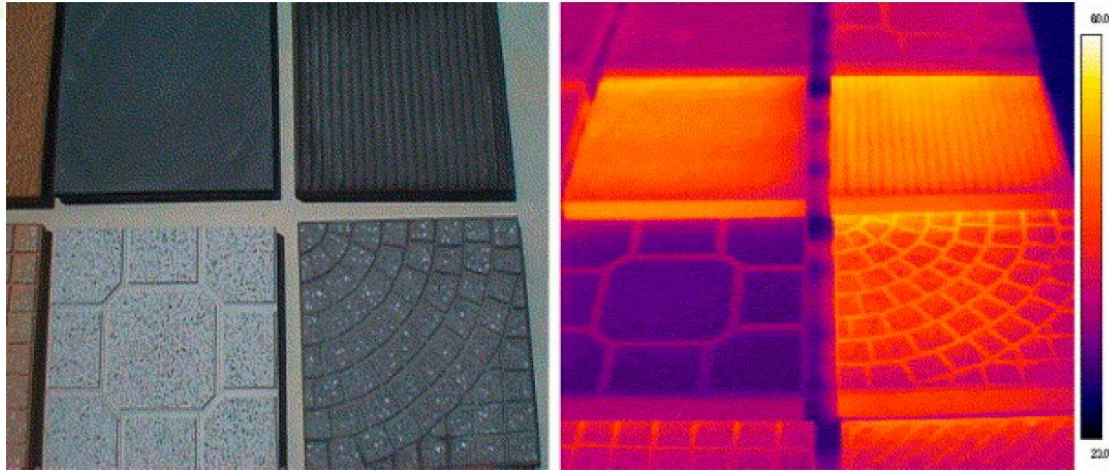
EXTENSIVOS: menores a 15 cm

SEMI-INTENSIVOS: entre 15 cm a 20 cm

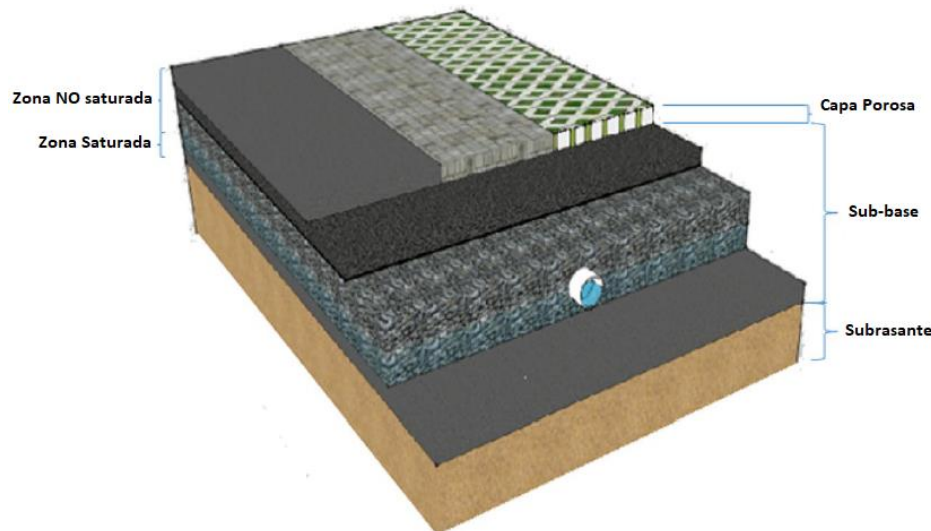
INTENSIVOS: mayores a 20 cm

Adaptado de: (Biswal et al., 2022)

PAVIMENTOS PERMEABLES – PAVIMENTOS FRÍOS



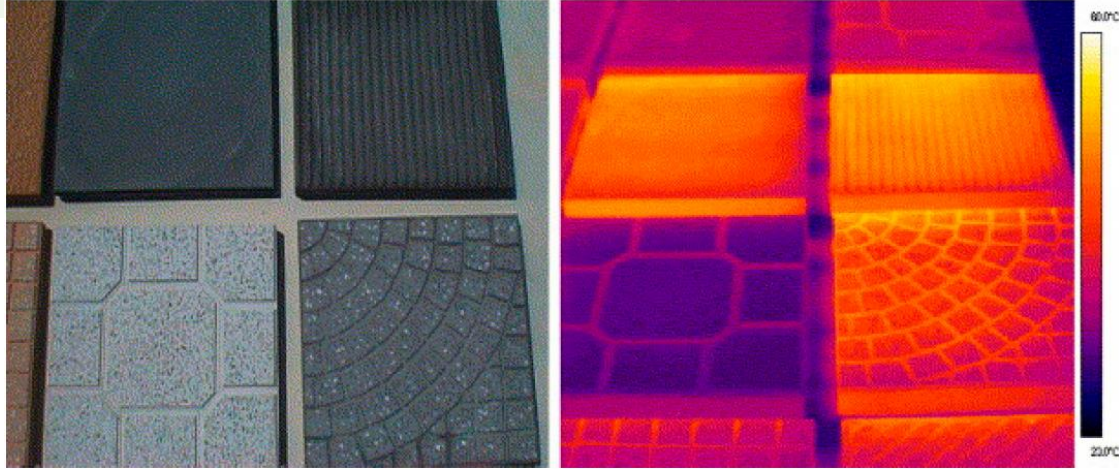
Pavimentos fríos, fuente: (Kappou et al., 2022)



Algunos beneficios

- Los pavimentos cubiertos o contruidos con materiales de reducida temperatura superficial se conocen como pavimentos frescos.
- Los pavimentos fríos pueden hacer una contribución significativa a la reducción de las temperaturas urbanas.
- Buena alternativa para combatir la impermeabilidad de las ciudades
- Gran ayuda para manejo de lluvias que puedan causar zonas de inundación al almacenar agua.

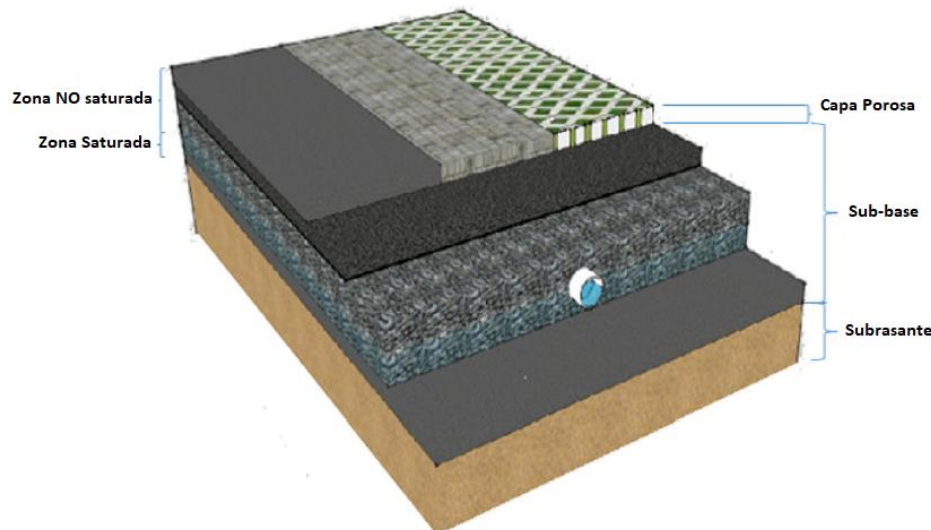
PAVIMENTOS PERMEABLES – PAVIMENTOS FRÍOS



Pavimentos fríos, fuente: (Kappou et al., 2022)

Inconveniente?

- Son complejos, con varios parámetros afectando la reflectividad y el almacenamiento del calor.
- La literatura recomienda mayormente a zonas lluviosas.



METODOLOGÍA

- Uso de parcelas instaladas en el Laboratorio, así como la estación meteorológica



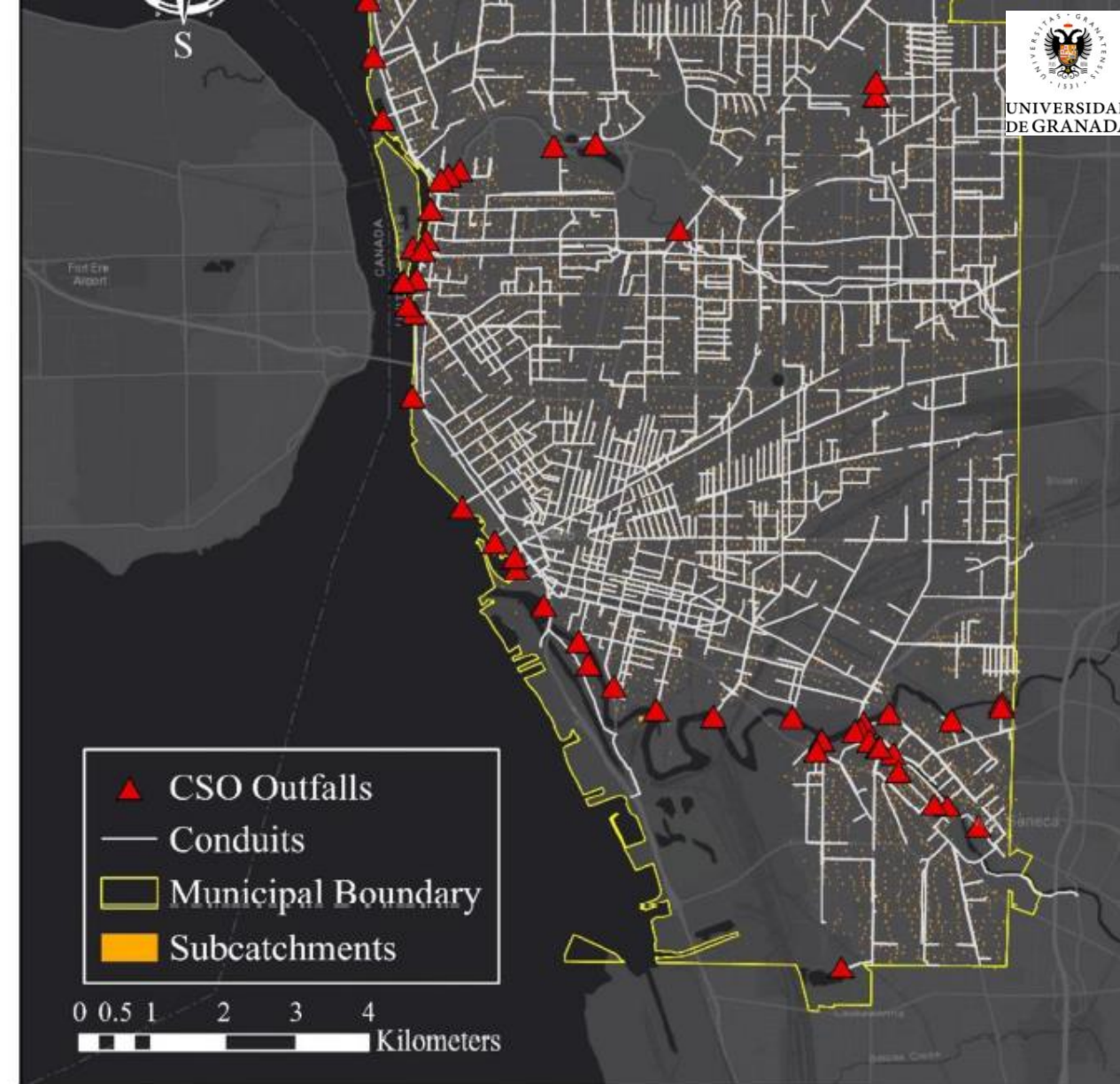
- Compra de equipos para la medición y obtención de datos: Sensores de humedad, temperatura, medidores de escorrentía, simulador de lluvia
- Análisis de posibles especies y substratos susceptibles de implementarse en el mediterráneo
- Obtener materiales cercanos para su uso en las cubiertas verdes

METODOLOGÍA

Al obtener las variables necesarias producto del estudio realizado en campo, se utilizara para desarrollar **mejores simulaciones**.

Esto permitirá obtener soluciones mas factibles a fin de proponer y extender su uso en la región.

Software como: **SWMM** que permite por ejemplo el estudio de SuDS en el sitio y su efecto

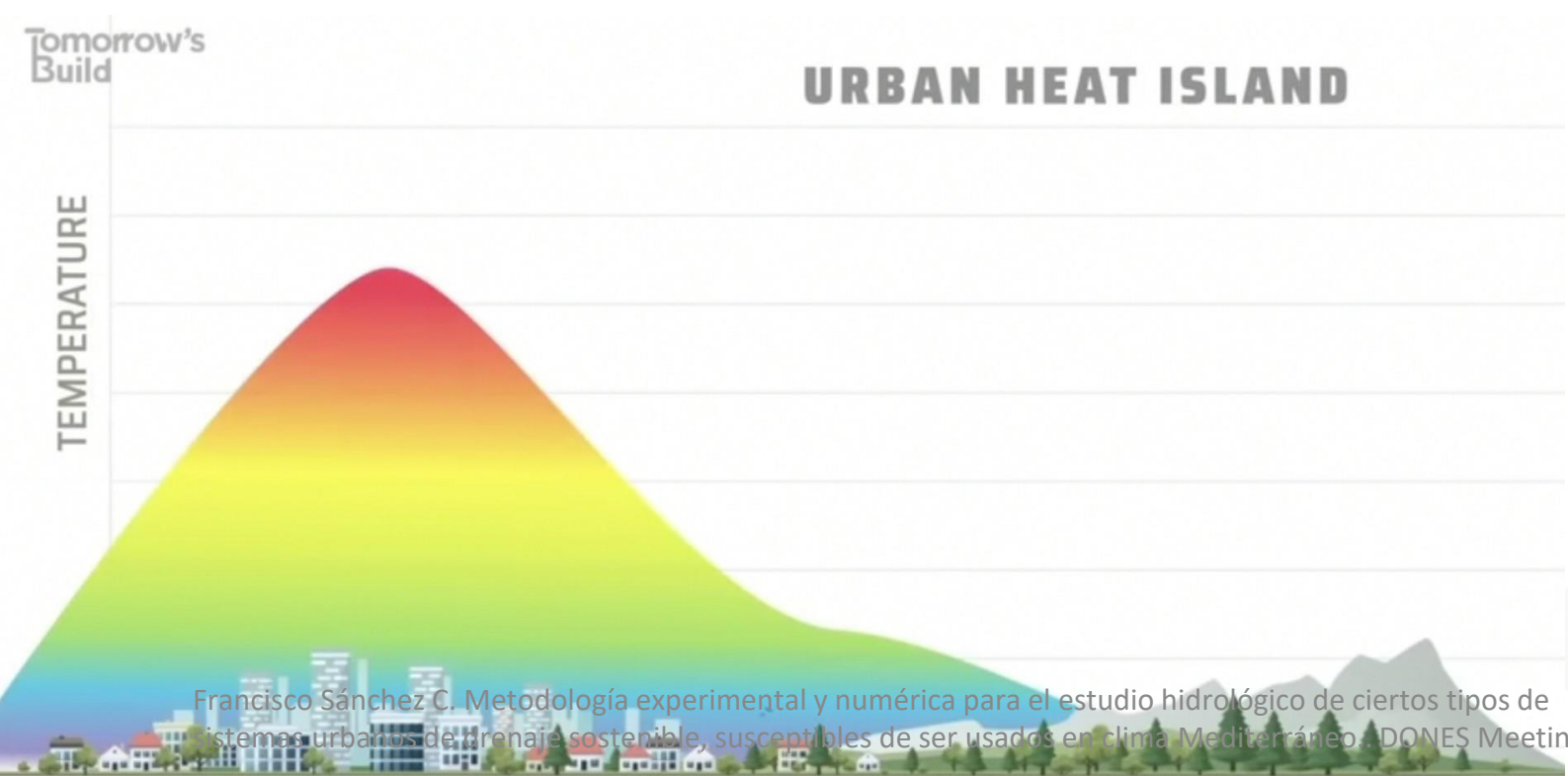


City of Buffalo's SWMM Model—conduits, sub-catchments, and CSO outfalls.

COMBATIR LAS ISLAS DE CALOR URBANAS

Cambios extensos en el tipo de cobertura de las ciudades producidos por la actividad humana, han afectado el comportamiento climático en ellas.

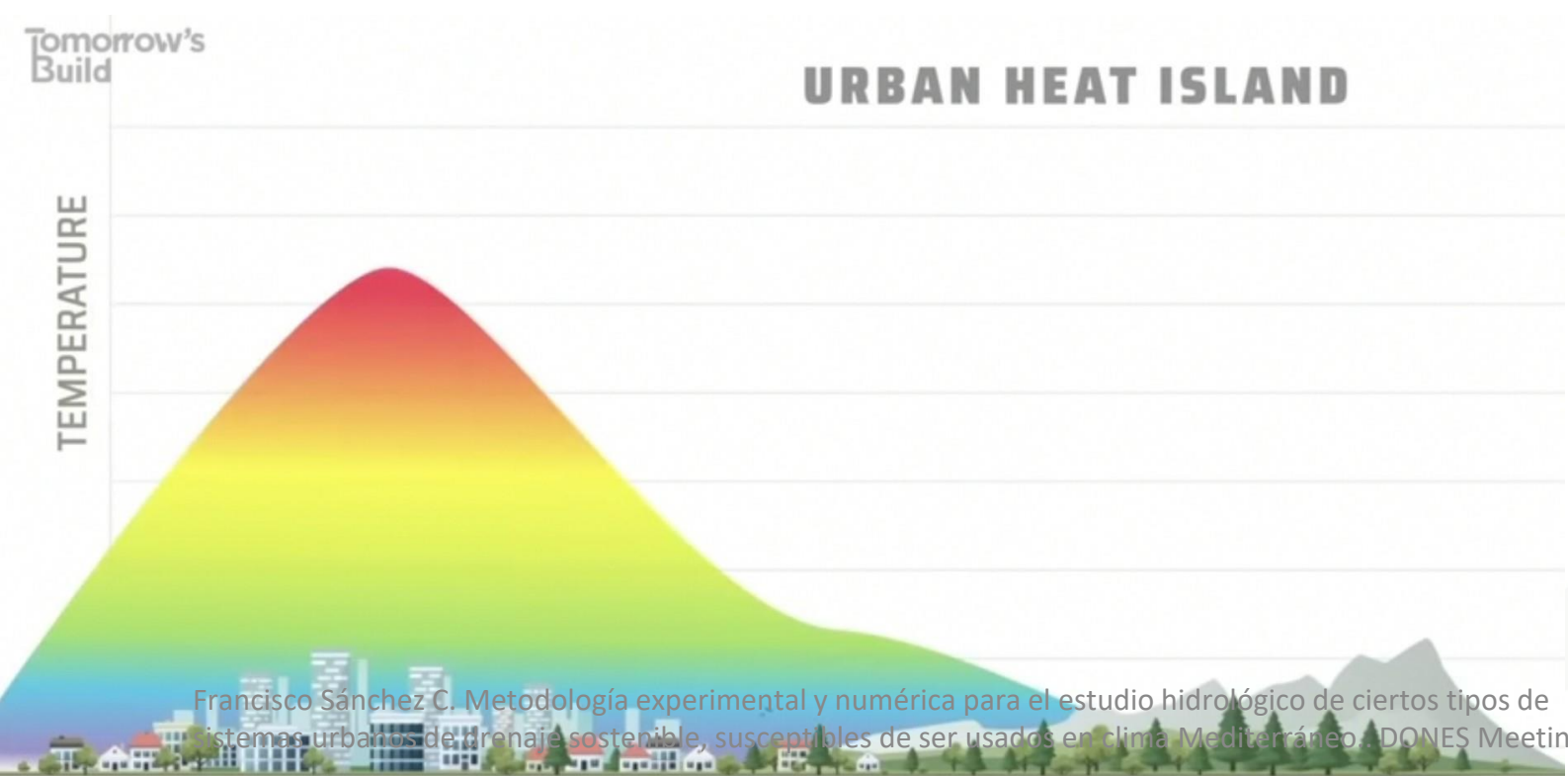
Se ha provocado un aumento de temperaturas conocido como **ISLAS DE CALOR URBANAS**



COMBATIR LAS ISLAS DE CALOR URBANAS

Cambios extensos en el tipo de cobertura de las ciudades producidos por la actividad humana, han afectado el comportamiento climático en ellas.

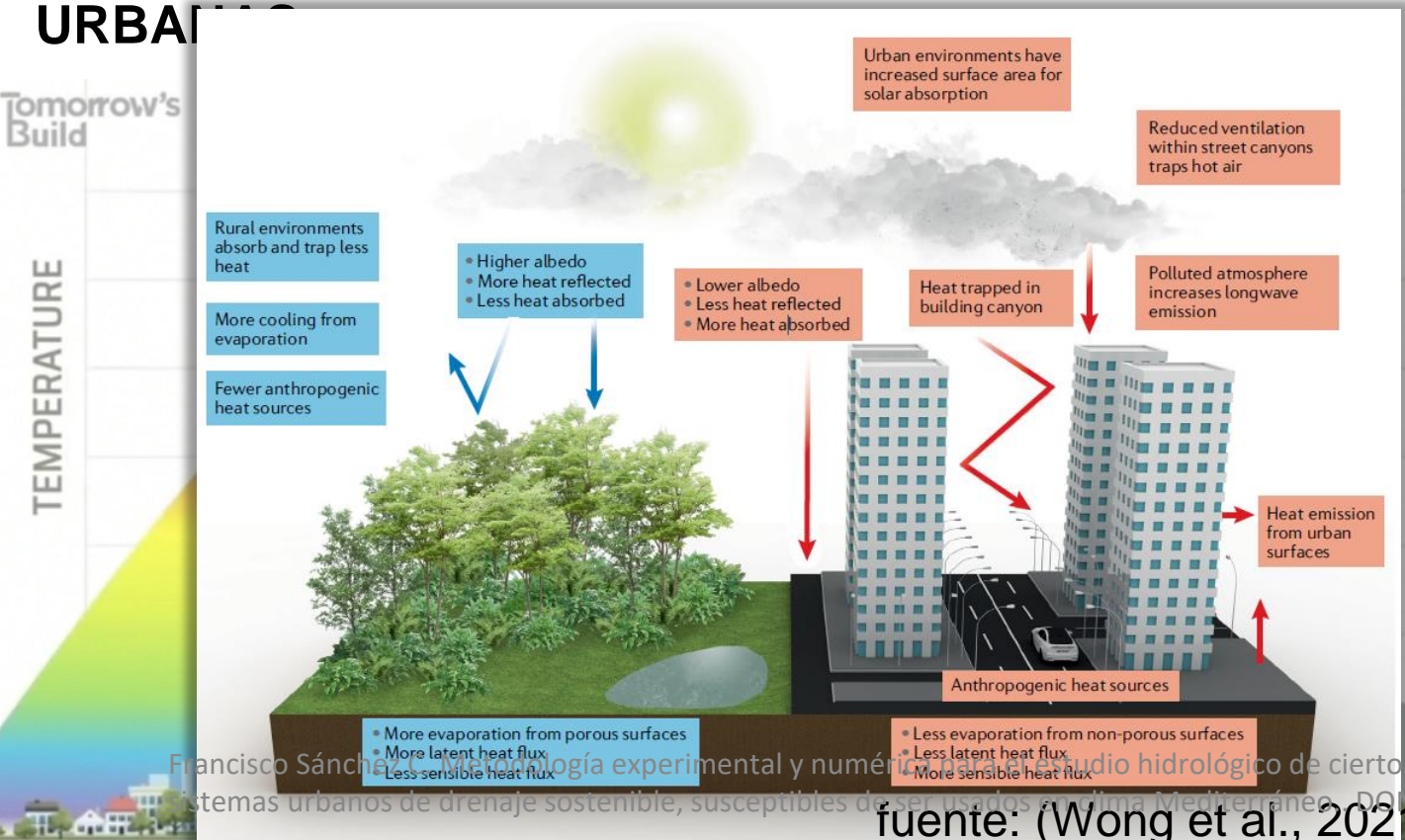
Se ha provocado un aumento de temperaturas conocido como **ISLAS DE CALOR URBANAS**



COMBATIR LAS ISLAS DE CALOR URBANAS

Cambios extensos en el tipo de cobertura de las ciudades producidos por la actividad humana, han afectado el comportamiento climático en ellas.

Se ha provocado un aumento de temperaturas conocido como **ISLAS DE CALOR URBANAS**



+
OLAS DE CALOR

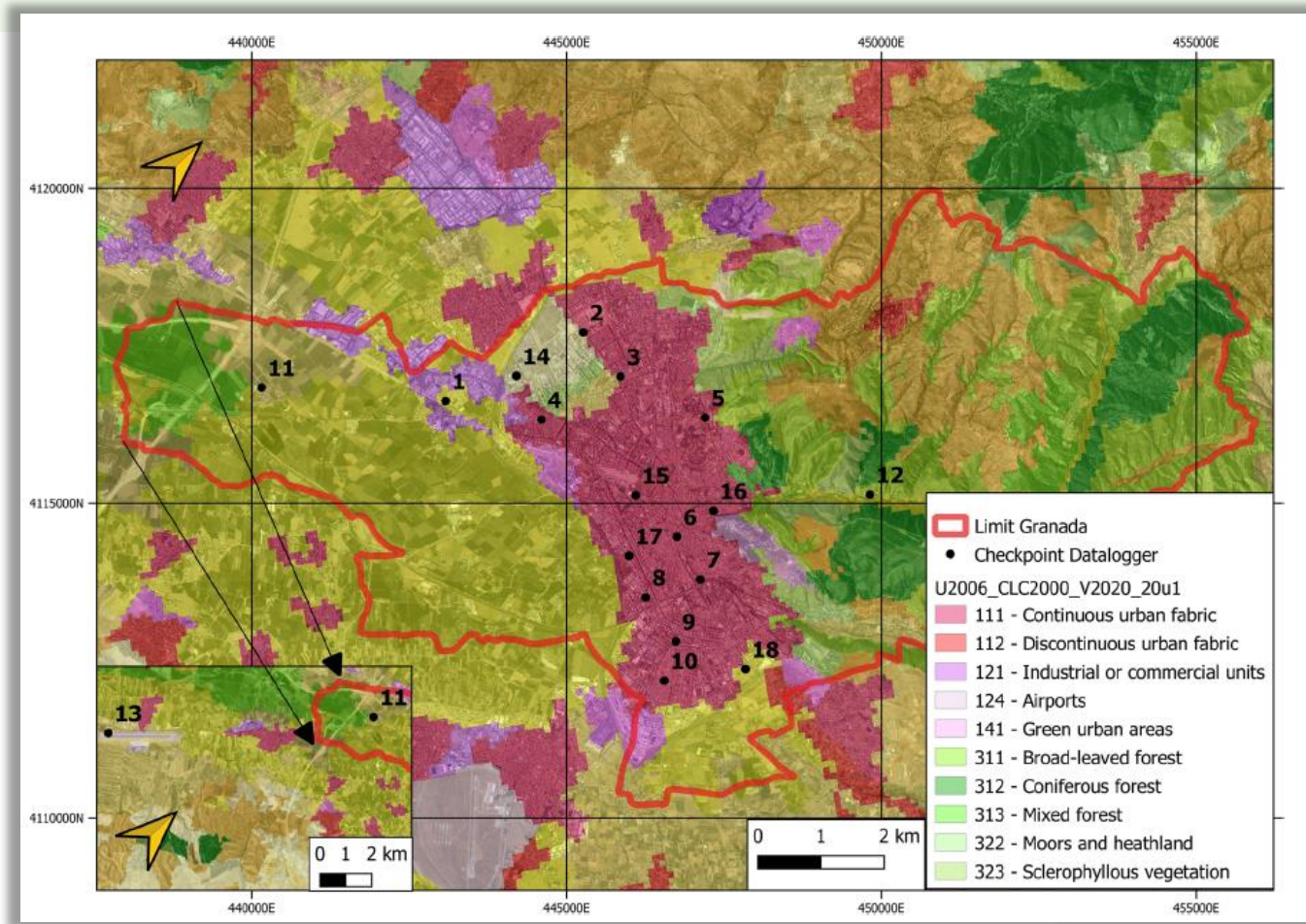
=



¿Qué sucede en las ciudades de Andalucía por ejemplo? O en Granada?

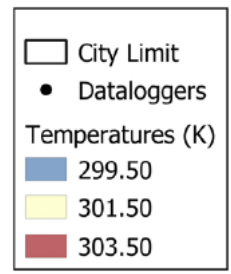
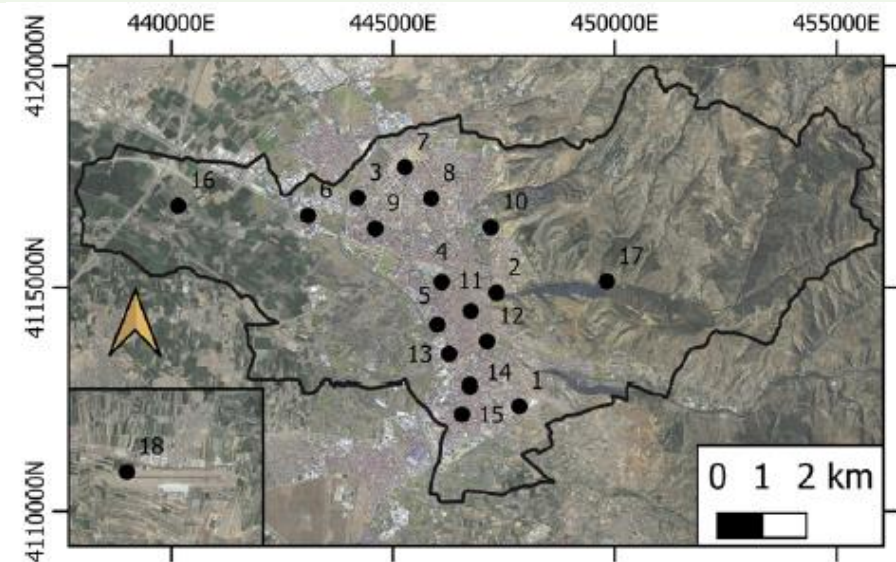


En Granada

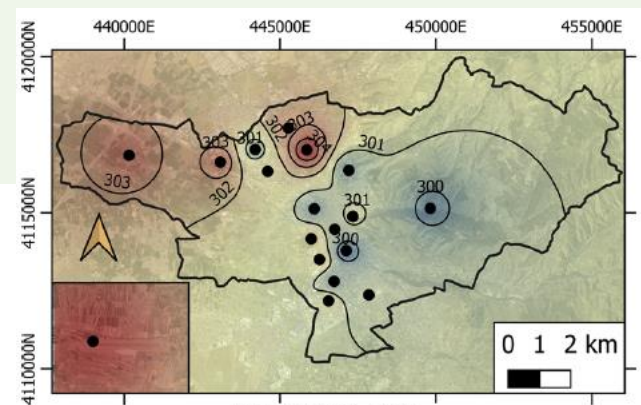


Plano de cobertura en la ciudad de Granada, indicando puntos de datalogers, fuente: (Hidalgo García, 2021)

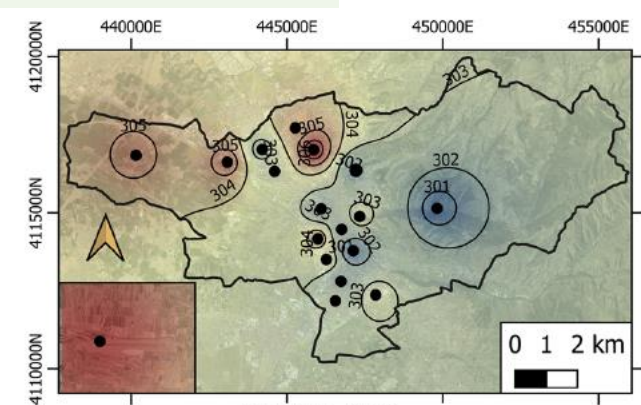
En Granada



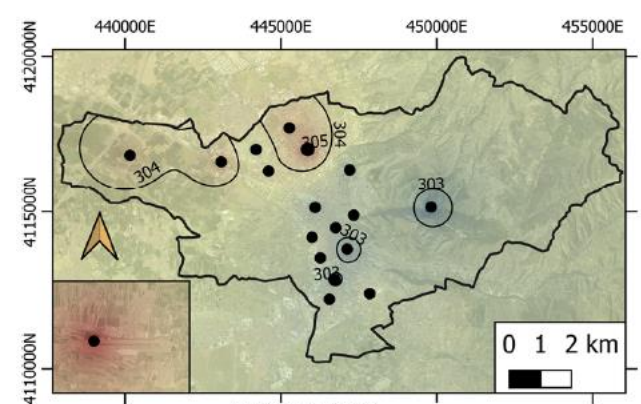
Promedio de temperatura de la superficie terrestre en Granada (LST)
fuente: (Hidalgo García, 2021)



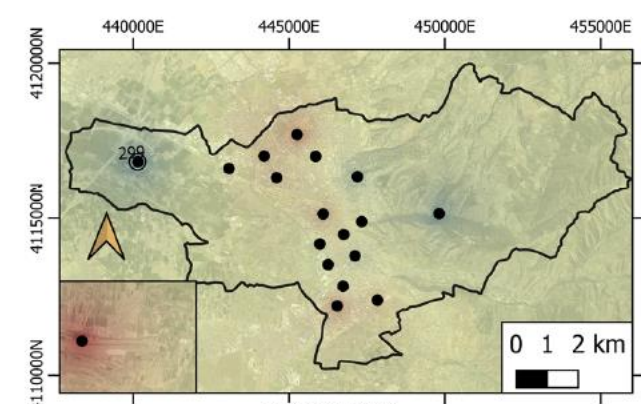
SW Jiménez et al., (2014)



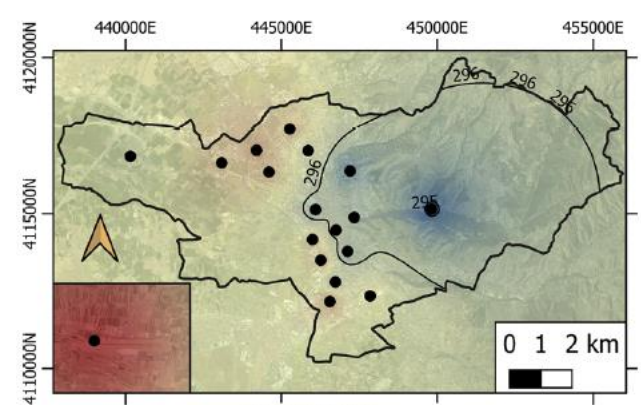
SW Mao et al., (2005)



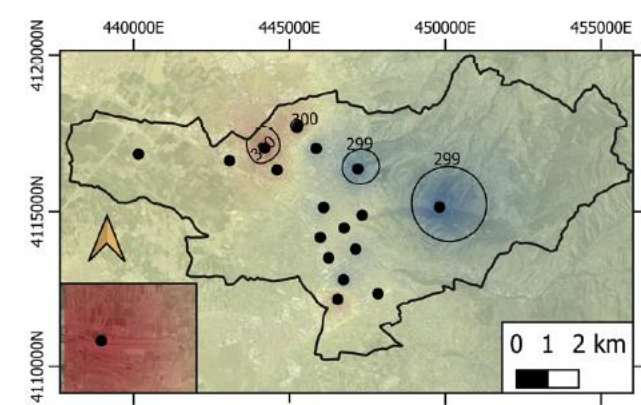
SW Du et al., (2015)



SW Official SLSTR

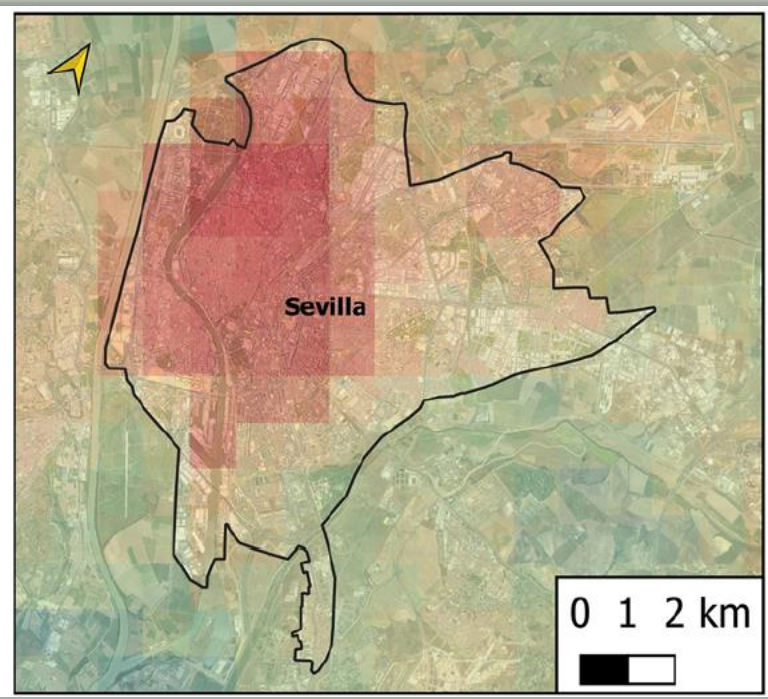
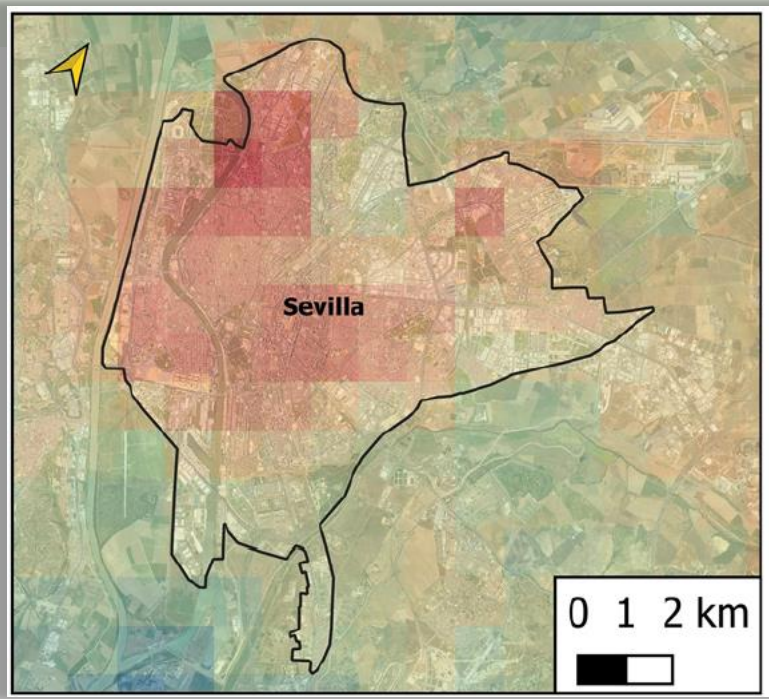


SW Price, (1984)



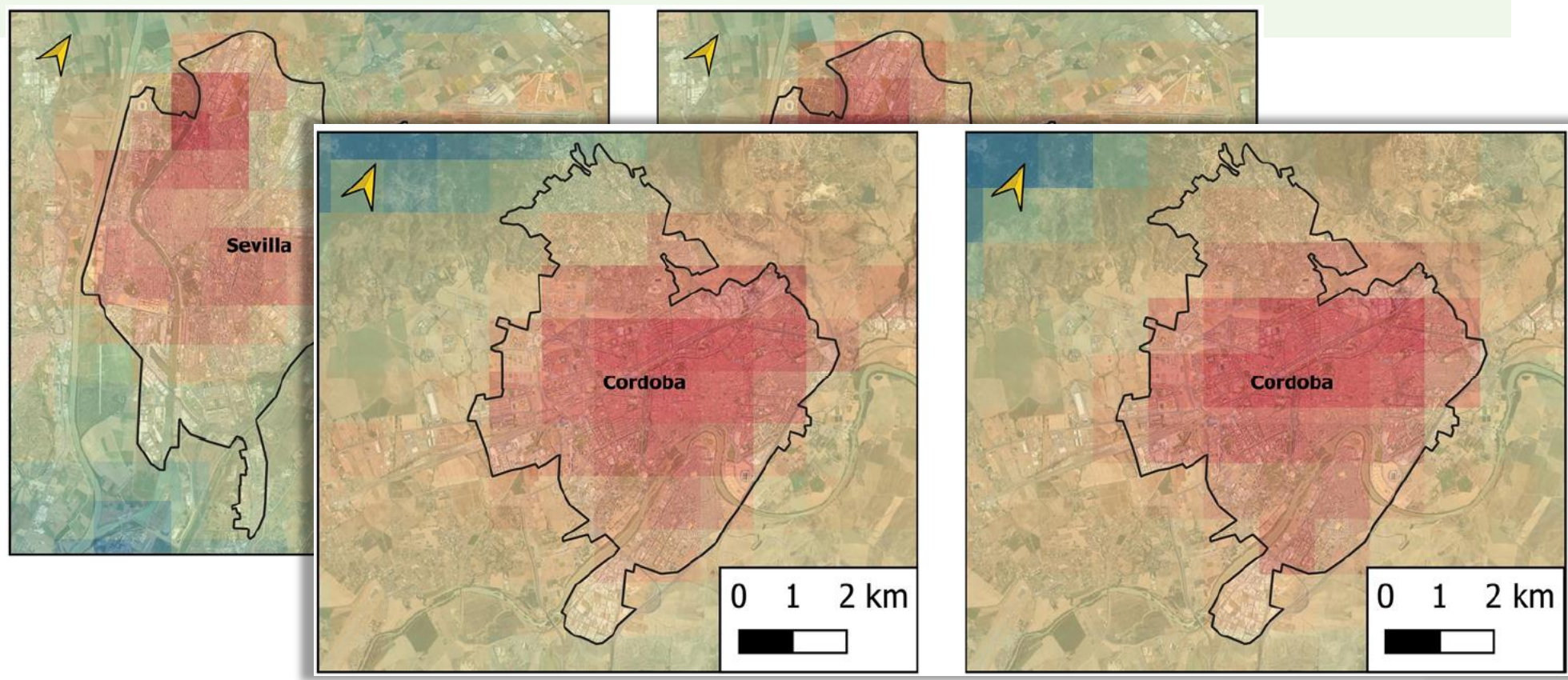
SW BL-WD, (1986)

En las ciudades de Andalucía



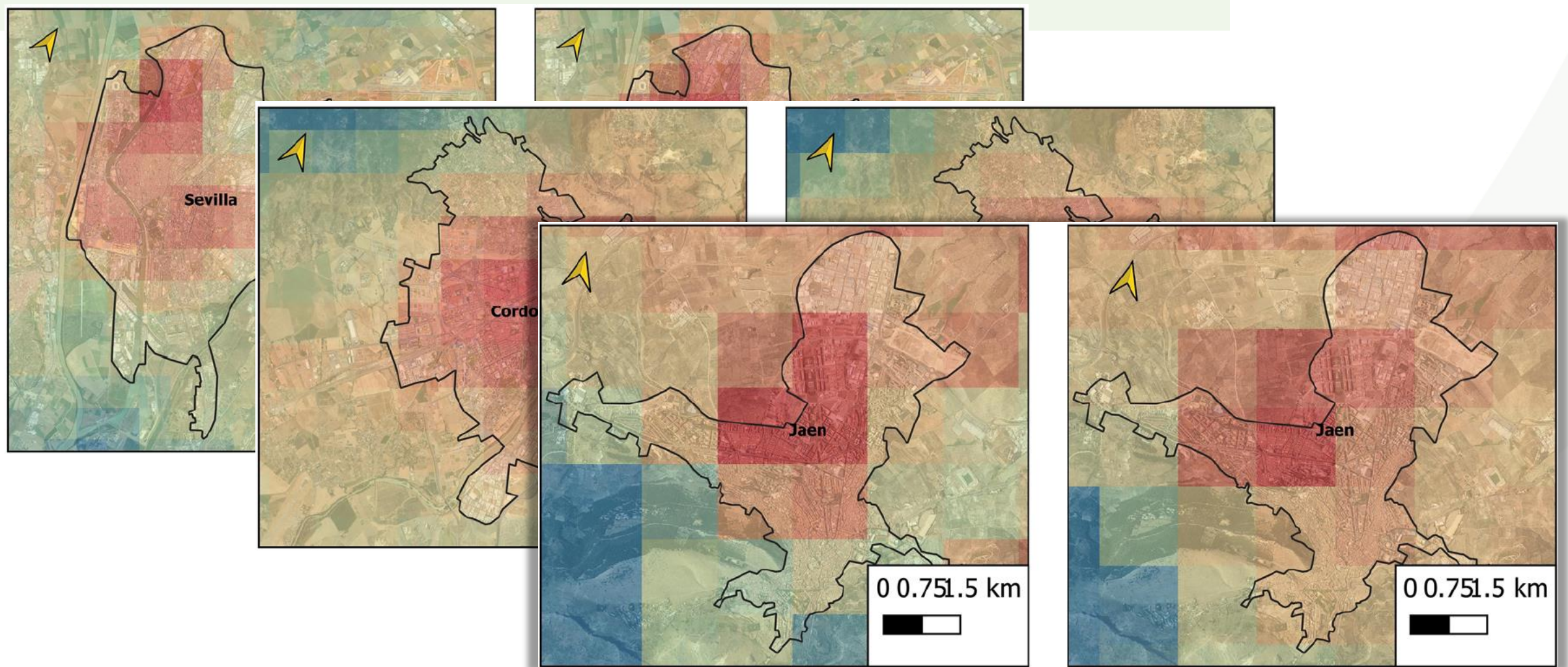
Promedio de isla de calor urbana superficial (**SUHI**), fuente: (García, 2022), IZQ: condiciones normales y DER: bajo olas de calor

En las ciudades de Andalucía



Promedio de isla de calor urbana superficial (**SUHI**), fuente: (García, 2022), IZQ: condiciones normales y DER: bajo olas de calor

En las ciudades de Andalucía



Promedio de isla de calor urbana superficial (**SUHI**), fuente: (García, 2022), IZQ: condiciones normales y DER: bajo olas de calor

REFERENCIAS

- Biswal, B. K., Bolan, N., Zhu, Y.-G. and Balasubramanian, R. (2022) 'Nature-based Systems (NbS) for mitigation of stormwater and air pollution in urban areas: A review', *Resources, Conservation and Recycling*, 186, pp. 106578. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106578>.
- García, D. H. (2022) 'Analysis of Urban Heat Island and Heat Waves Using Sentinel-3 Images: a Study of Andalusian Cities in Spain', *Earth Systems and Environment*, 6(1), pp. 199-219. DOI:<https://doi.org/10.1007/s41748-021-00268-9>.
- Hidalgo García, D. (2021) 'Analysis and precision of the Terrestrial Surface Temperature using Landsat 8 and Sentinel 3 images: Study applied to the city of Granada (Spain)', *Sustainable Cities and Society*, 71, pp. 102980. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102980>.
- Kappou, S., Souliotis, M., Papaefthimiou, S., Panaras, G., Paravantis, J. A., Michalena, E., Hills, J. M., Vouros, A. P., Ntymenou, A. and Mihalakakou, G. (2022) 'Cool Pavements: State of the Art and New Technologies', *Sustainability*, 14(9), pp. 5159. DOI:<https://doi.org/10.3390/su14095159>.
- Kuruppu, U., Rahman, A. and Rahman, M. A. (2019) 'Permeable pavement as a stormwater best management practice: a review and discussion', *Environmental earth sciences*, 78(10), pp. 1-20. DOI:<https://doi.org/10.1007/s12665-019-8312-2>.
- Rama, H. O., Roberts, D., Tignor, M., Poloczanska, E. S., Mintenbeck, K., Alegría, A., Craig, M., Langsdorf, S., Löschke, S., Möller, V., Okem, A., Rama, B. and Ayanlade, S. (2022) *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- Wong, N. H., Tan, C. L., Kolokotsa, D. D. and Takebayashi, H. (2021) 'Greenery as a mitigation and adaptation strategy to urban heat', *Nature Reviews Earth & Environment*, 2(3), pp. 166-181. DOI:<https://doi.org/10.1038/s43017-020-00129-5>.

Metodología experimental y numérica para el estudio hidrológico de ciertos tipos de sistemas urbanos de drenaje sostenible, susceptibles de ser usados en clima Mediterráneo.

Francisco Sánchez Cordero
f.sanchezcordero@ugr.es

Leonardo S. Nanía Escobar (UGR) | Moisés Weber Suárez (CIEMAT)

THE KEY TO THE FUTURE



Simulation and Experimental Study of Accidental Scenarios of Vacuum Failure in the IFMIF-DONES Accelerator using the prototype MuVacAS

Ponente: Anderson Sabogal

Tutores:

Daniel Rodriguez (UGR)

Claudio Torregrosa (IFMIF-DONES)

David Jimenez (CIEMAT)

THE KEY TO
THE FUTURE



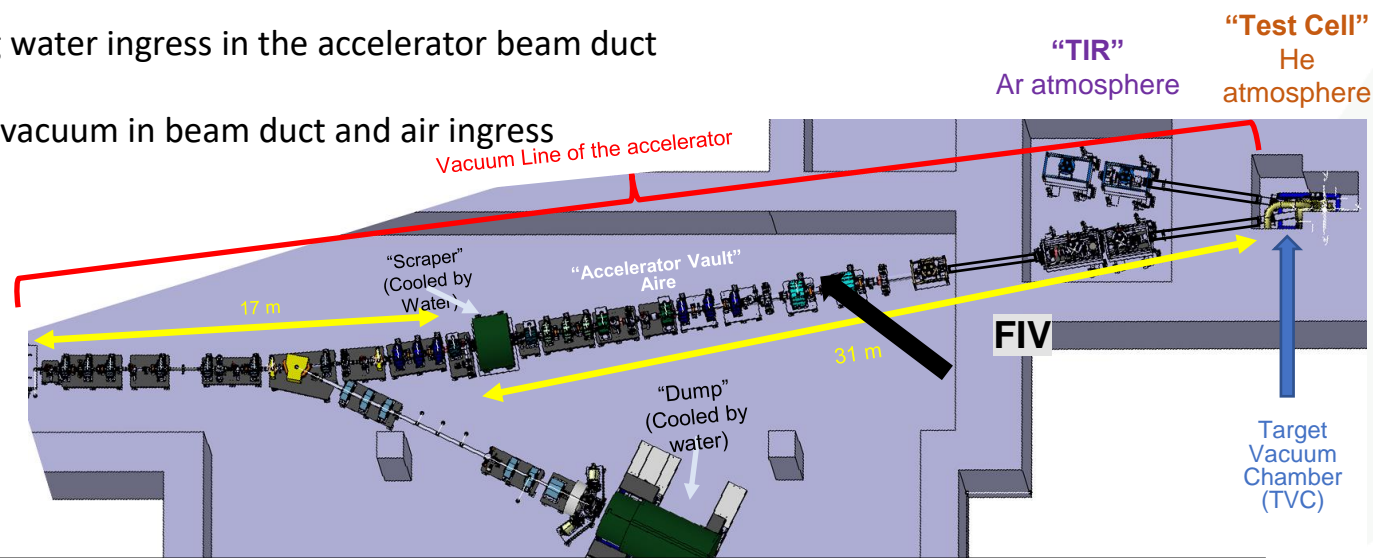
Introduction

1) **x3** enveloping **Reference Accident Scenarios** proposed for deterministic analysis related vacuum loss in the beam line and target chamber reported in the PSAR/SAR:

- 1) RAS#5, LS3-3: Loss of Vacuum in the TVC (Target Vacuum Chamber)
- 2) RAS#12, AS3-1: Cooling water ingress in the accelerator beam duct
- 3) RAS#13, AS3-2: Loss of vacuum in beam duct and air ingress

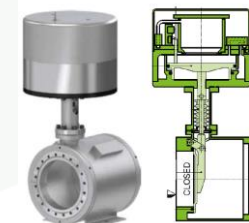
Hazards:

- 1) Entrance of air/water to the TCV
- 2) Transport of activated materials from the TVC to the AV in case of BP failure



The key mitigation components:

- 1) **Fast Isolation Valve (FIV):** Closing times in the order of **70-100 ms**.
- 2) **To be decided:** "All-metal" Gate Valve in the TIR: Closing times in the order of **10-20 s**



Additional Implications on the TC-Liner "Pressure Equipment" Classification



MuVacAs Objectives

Primary Objectives

Licensing for Safety Classification

Validate the **performance and efficacy of fast isolation valves** and other mitigation measures in views of the future IFMIF-DONES licensing.

- Verify closing times, pressure thresholds and transported masses.
- Serve as a test bench for the **safety control architecture of the FIVs** and **reliability assessment** with views towards their Safety Classification with Regulatory body.

Modelling Validation

- Measure **propagation times** and **transported masses of air/water** for different scenarios and to **crosscheck/benchmark simulations**.

Experimentation

Recreate accident scenarios of air and water inrush.

- Controlled leaks (Air / Water)
- Sudden inrush originated from: backplate & shear rupture

Other Objectives

Prototyping

Serve as hub for integration and **test** of other vacuum related prototypes and components (aluminum chambers/flanges, Fast disconnection systems, robustness of pumps, gaugers, etc).

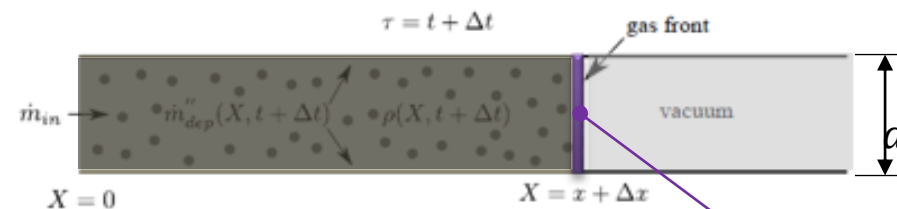
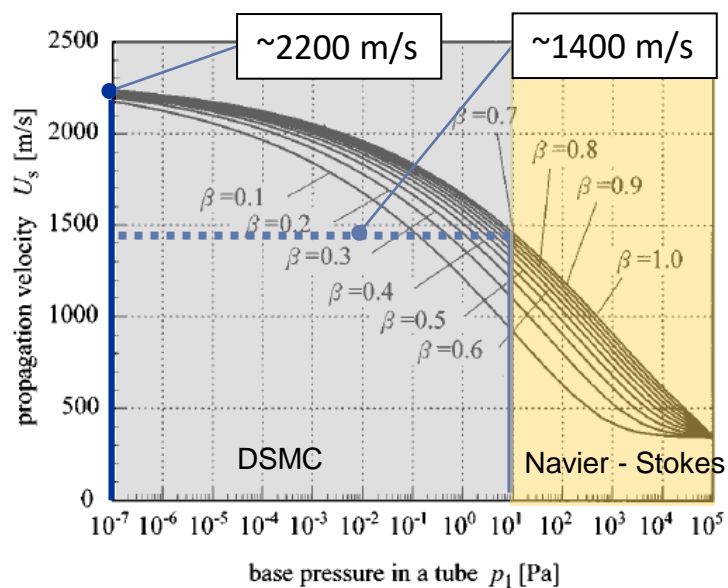
Differential Pressure - Ar

Prototype the differential pressure system of the HEBT through Ar regulated injection in the TVC to keep the pressure there within (10⁻⁵ - 10⁻⁴) mbar

Modelling: Why is it difficult?

Challenges:

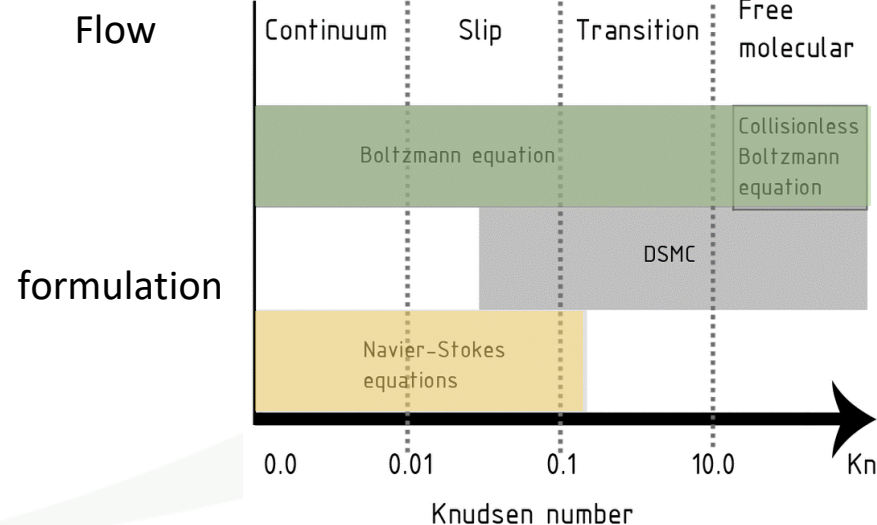
1. Different flow regimes formulation
2. Dynamic simulation.
3. Evaluate complex geometry. (buffer, section change)
4. Interaction fluid – wall (viscosity).
5. Substances: Air and He.
6. Simulation stable in section changes.
7. Variable area in the inlet mass.
8. Rigid body assumption in structure.



$$\frac{P_{air} = 1013 \text{ mbar}}{P_{vacuum} = 10^{-7} \text{ mbar}} = \text{Order } \nabla P = 10^{10}$$

The Knudsen number for $d = [40 - 250] \text{ mm}$ is:

$$Kn = [0.000002 - 40 \cdot 10^4]$$



Experimental Setup: Phase 1

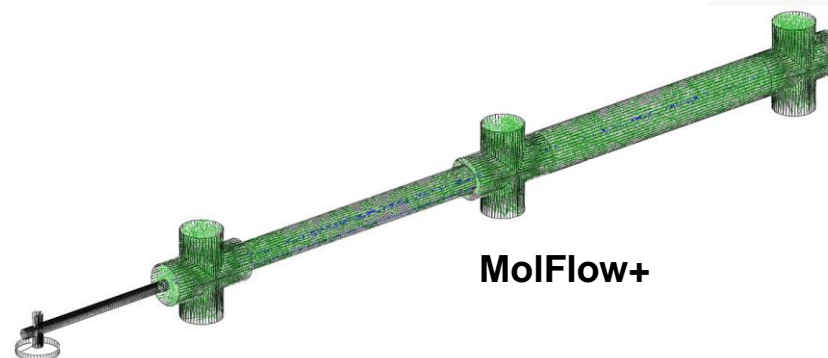
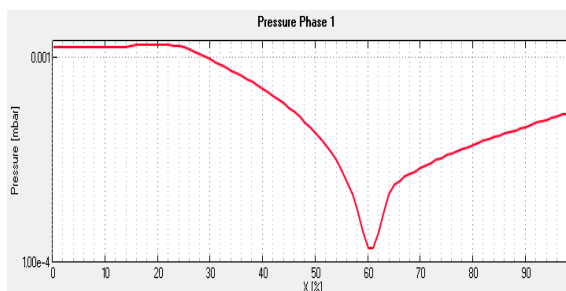
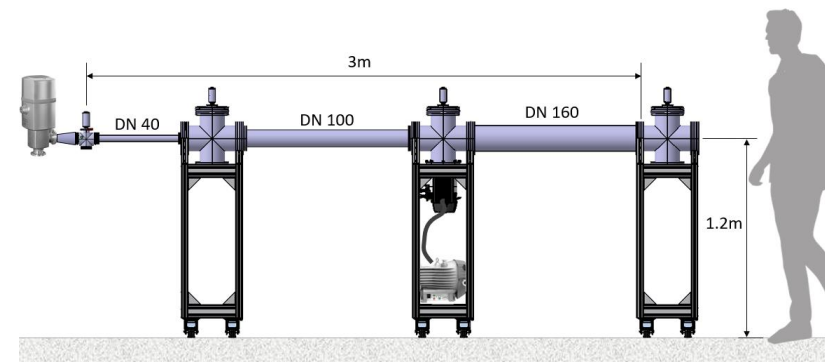
Phase 1: Line of High Vacuum

MuVacAs Commissioning will be in 2023 Q3, phase 1 consist in the construction of a simple setup in the short term.

Objective:

- Know-How of UHV before MuVacAs
- Validate preliminary modelling in MolFlow+
- Explore transient modelling

Hardware available: 4 TMP + 4 Scroll + RGA + FIV-VAT (DN 40 CF) + Controllers + Pipes + Structure



Experimental Setup: MuVacAs



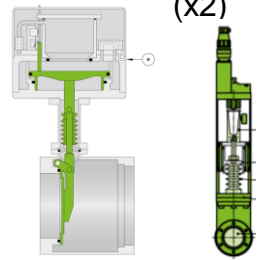
UNIVERSIDAD DE GRANADA

High Vacuum System

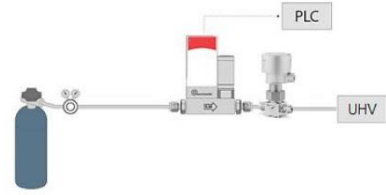
1 Pumps system (x6)



2 Fast Isolation Valve VAT (x2)

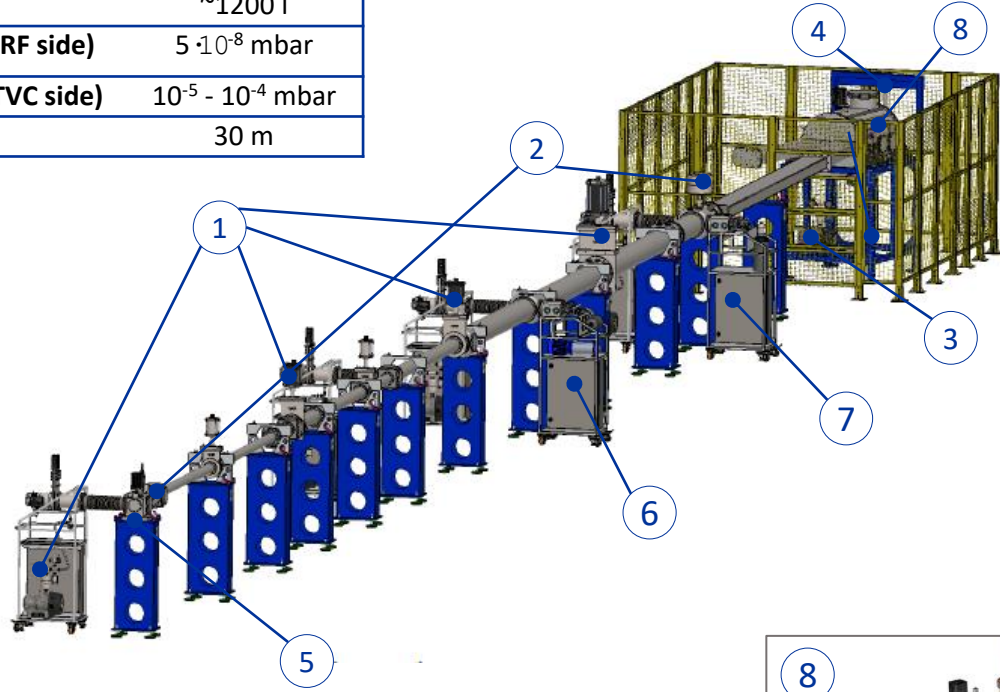


3 Differential Pressure with Ar Injection

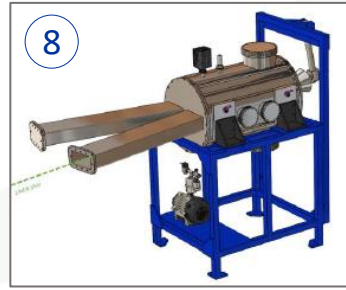


Multipurpose Vacuum Accident Scenarios

Characteristics	Value
Total Volume	~1200 l
Min Pressure (SRF side)	$5 \cdot 10^{-8}$ mbar
Max Pressure (TVC side)	$10^{-5} - 10^{-4}$ mbar
Length	30 m



8 TVC (Scale 1:1) Bake Out Aluminum Pipes Section



Experimental Modules

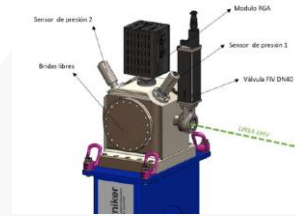
Pendulum

4



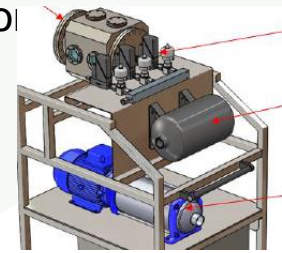
RGA

5



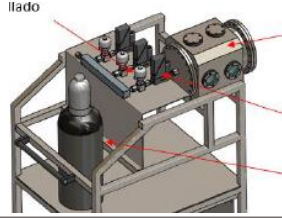
Water Injection

6

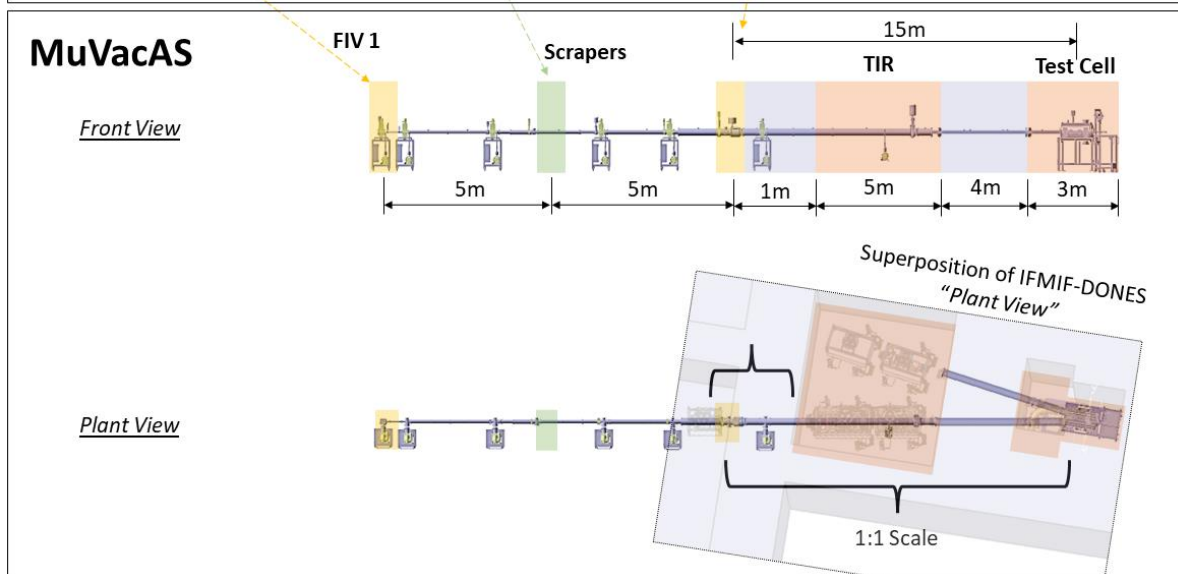
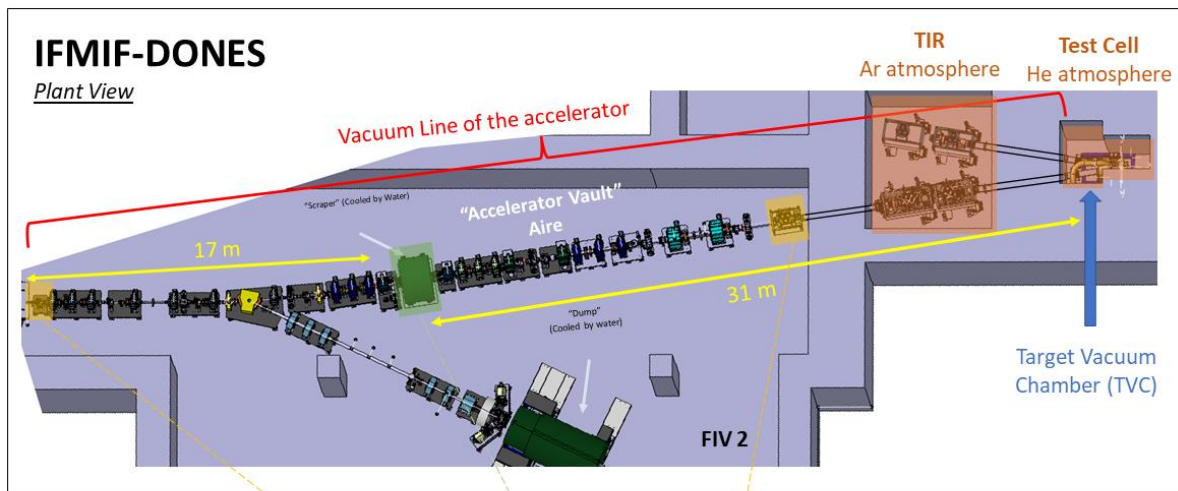


Gas Injection

7



IFMIF-DONES vs MuVacAS



**Location:
UGR-DONES**

Size: 24m X 50m

Power: 60 kW

**Air inputs:
Ar, N2 y He**



Actual Status



UNIVERSIDAD DE GRANADA

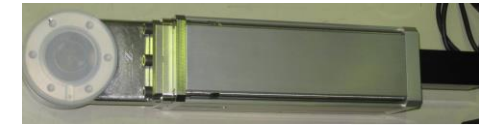


Phase 1: Begin assembly

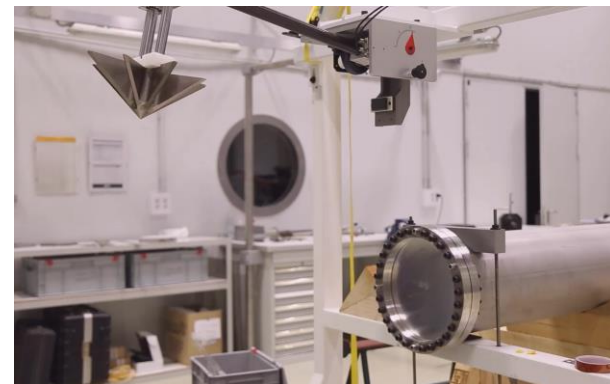
Pump System



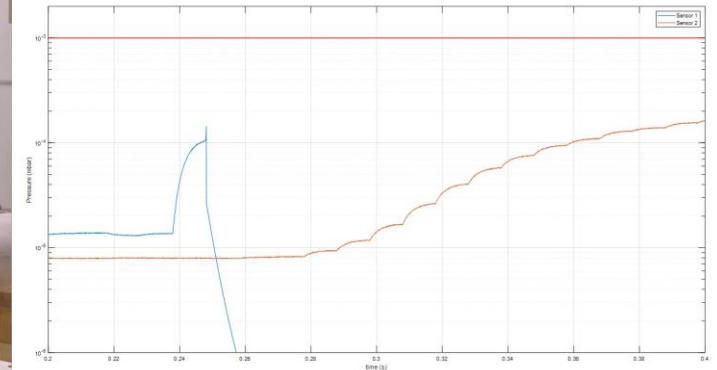
Key elements: Controllers, Valves, etc.



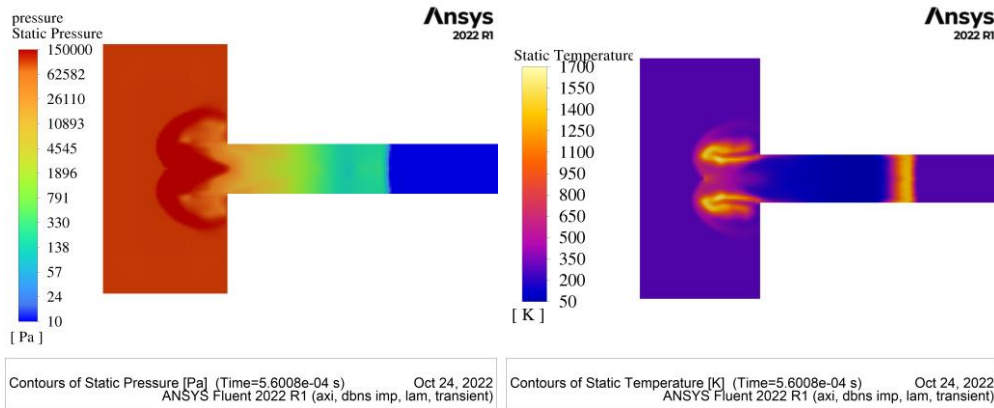
Pendulum



Pressure measurement @ 20kHz



Preliminar results of MuVacAS

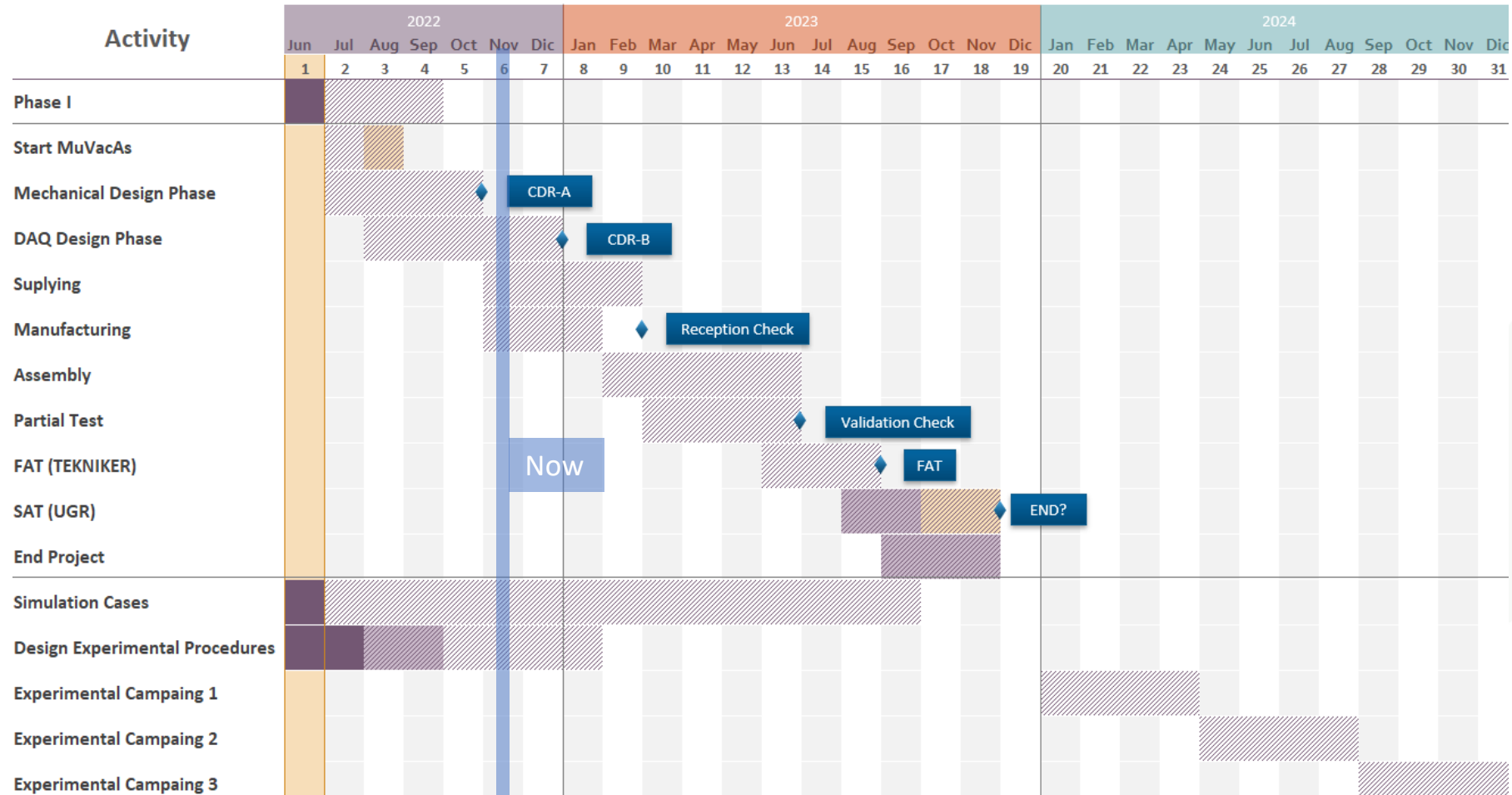


Simulation: First estimation

Execution planning



UNIVERSIDAD DE GRANADA



Simulation and Experimental Study of Accidental Scenarios of Vacuum Failure in the IFMIF-DONES Accelerator using the prototype MuVacAS

Ponente: Anderson Sabogal

Tutores:

Daniel Rodriguez (UGR)

Claudio Torregrosa (IFMIF-DONES)

David Jimenez (CIEMAT)

THE KEY TO
THE FUTURE



Estimación de la incertidumbre de la dosis neutrónica en las muestras a partir de los diagnósticos en el HFTM

Irene Álvarez Castro
iac@ugr.es

Marta Anguiano Millán (UGR) | Fernando Mota García (CIEMAT)

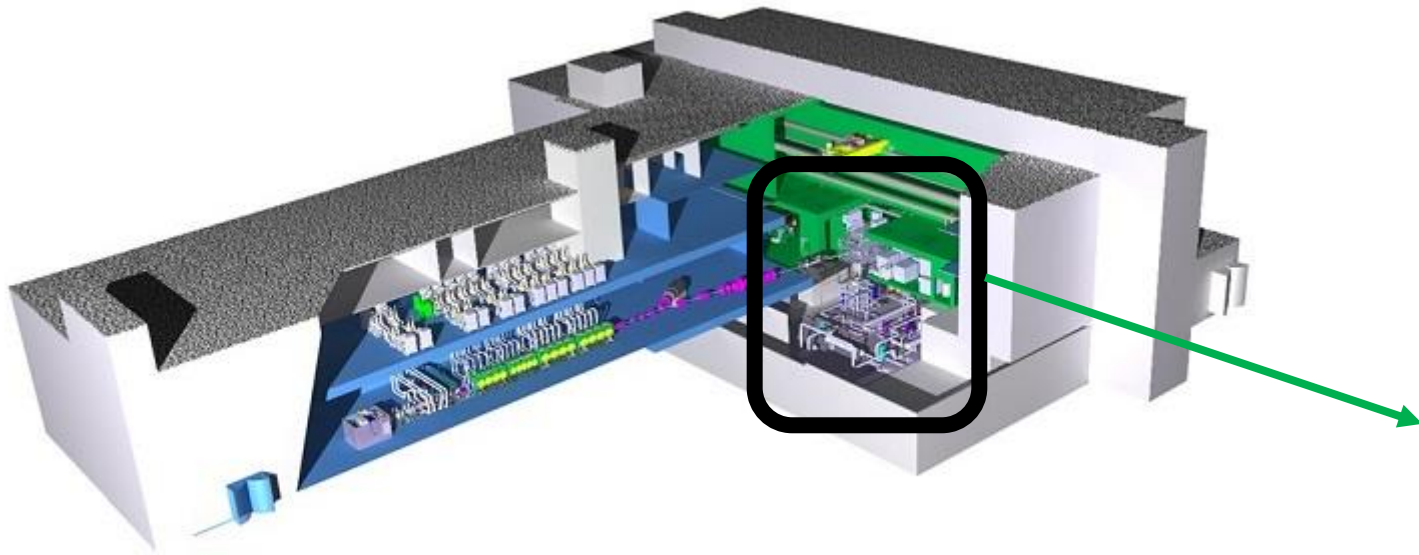
THE KEY TO THE FUTURE



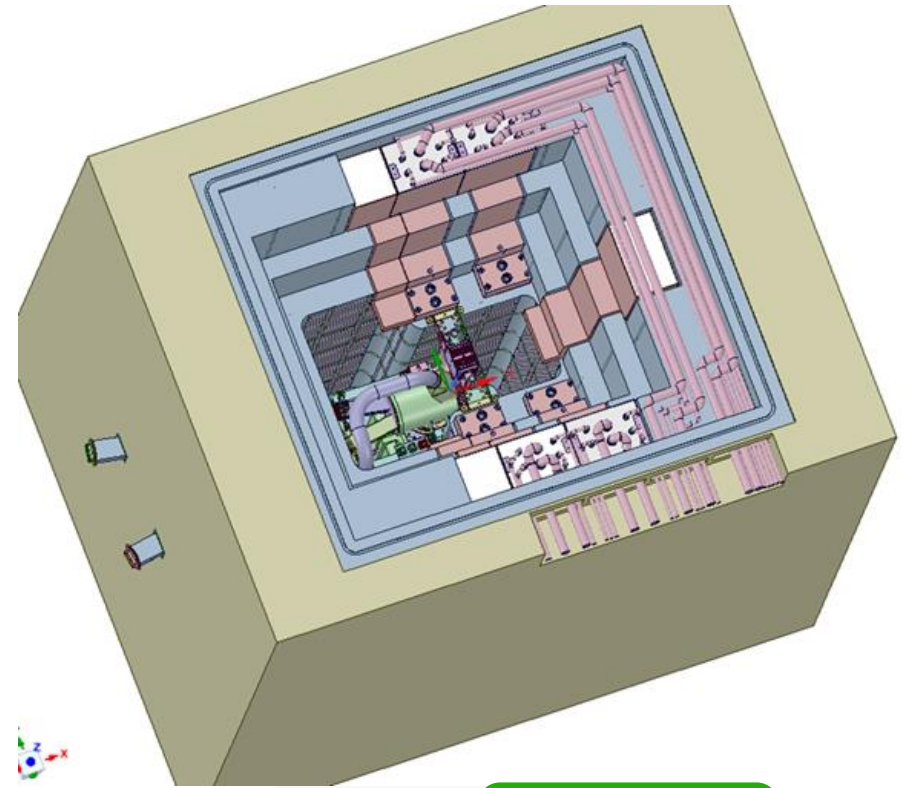
Índice

- 1 Justificación de línea de investigación
- 2 Flujo neutrónico en HFTM
- 3 Empaquetamiento de muestras de material
- 4 Diagnósticos en HFTM
- 5 Dosis neutrónica a partir de los diagnósticos
- 6 Plan de trabajo

Justificación



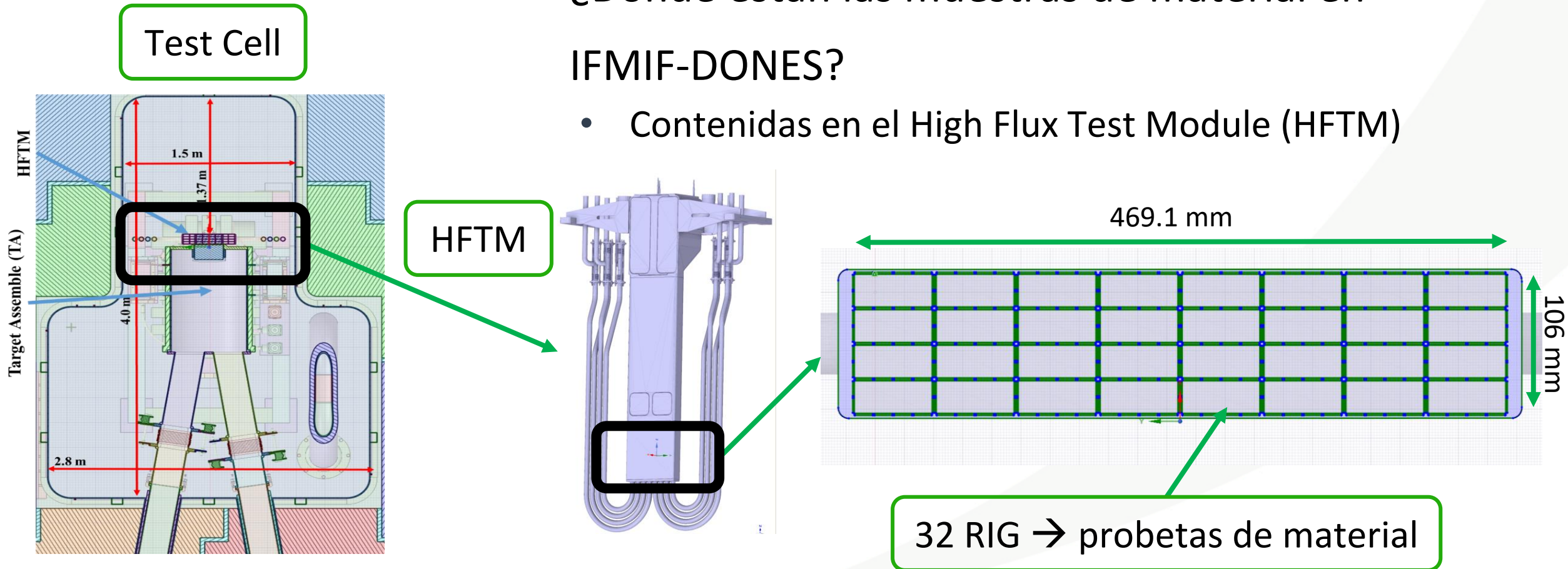
IFMIF-DONES



Test Cell

Justificación

- ¿Dónde están las muestras de material en IFMIF-DONES?
- Contenidas en el High Flux Test Module (HFTM)



Justificación

Irradiación
materiales

- Muestras de material en los rigs del HFTM

Estudio
materiales

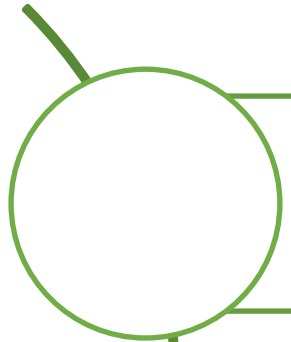
- Defectos, dislocaciones
- Ensayos propiedades mecánicas

Catalogar
daño-dosis
neutrónica por
muestra

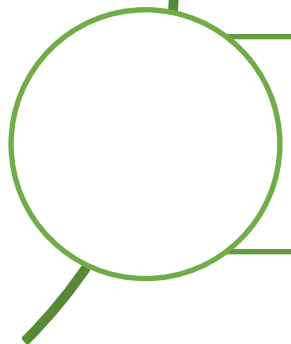
- Estimar la dosis neutrónica en cada muestra desde la información de los diagnósticos

Justificación

Para estimar la dosis neutrónica usaremos datos obtenidos de simulaciones:



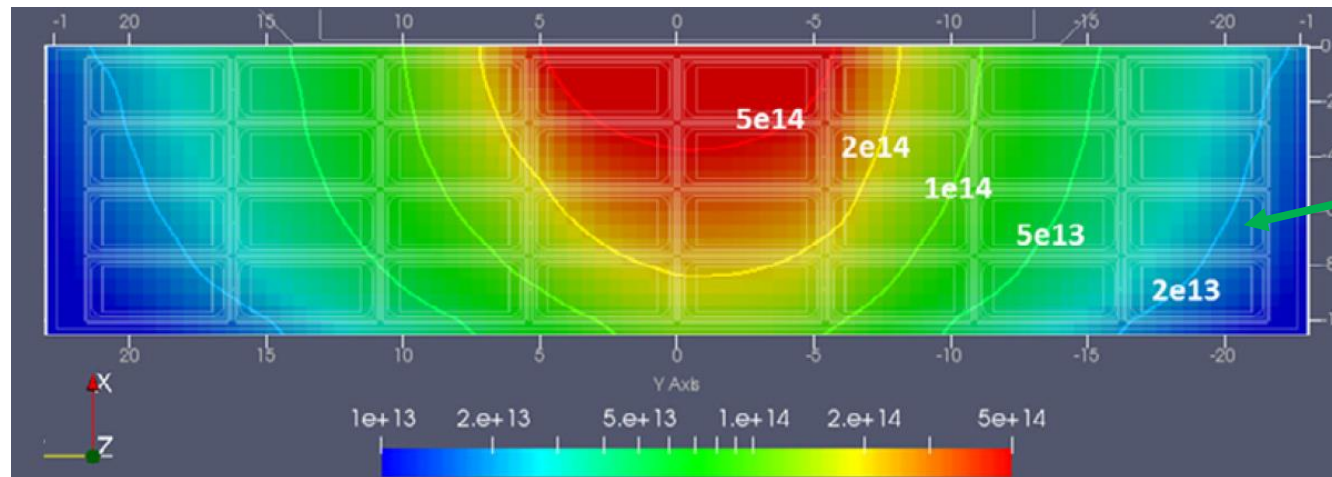
Para predecir las dosis esperadas en las muestras



Para determinar las incertidumbres que tendremos de determinación de la dosis con los diagnósticos

Flujo neutrónico en el HFTM

- La distribución del flujo neutrónico ($n/cm^2/s$) se ha calculado con rigs compactos \rightarrow rectángulos con una distribución de material homogénea con una densidad ponderada de eurofer, sodio y vacío.



Qiu Y, Arbeiter F, Fischer U and Schwab F 2018 IFMIF-DONES HFTM neutronics modelling and nuclear response analysis *Nucl. Mater. Energy* **15** 185–9

Empaquetamiento de las muestras de material

Diseño del empaquetamiento de muestras de material, cedido por Marta Serrano y Rebeca Hernández (CIEMAT)

Transformar esta disposición a un código de transporte de partículas: MCNP6.2

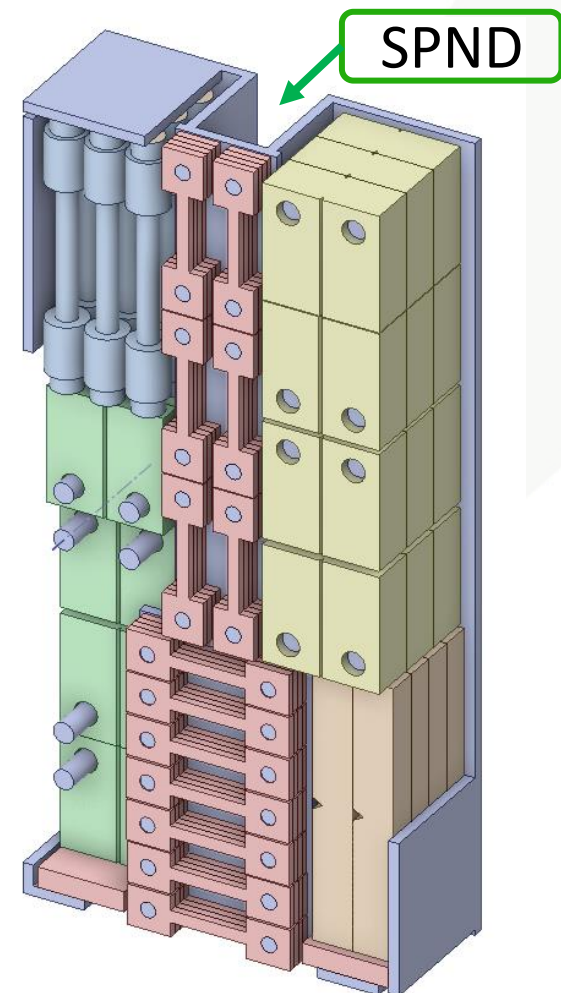
Obtendremos:

- Dosis neutrónica/muestra de material
- Distribución del flujo neutrónico con este diseño de rig en HFTM

Rig compacto

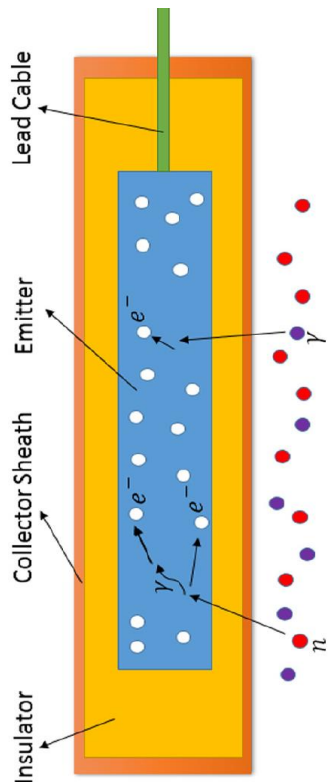


Rig realista



Diagnósticos en el HFTM

Los Self-powered neutron detectors (SPND) son diagnósticos que transforman el flujo neutrónico que les llega en corriente eléctrica. Es una medida a tiempo real



Reacciones

- (n, β)
- (n, γ, e^-)
- (γ, e^-)

Delayed response

- \uparrow sensibilidad a $\beta \rightarrow \uparrow$ tiempo respuesta
- Materiales emisor: ^{103}Rh , ^{51}V

Prompt response

- \uparrow sensibilidad a $\gamma \rightarrow \downarrow$ tiempo respuesta
 \rightarrow ¿sistema de seguridad?
- Materiales emisor: ^{190}Pt , ^{52}Cr , Inconel600 (Ni, Cr, Fe)

Dosis neutrónica a partir de los diagnósticos

Desarrollar un modelo de SPND → hacer simulaciones

Dosis neutrónica a partir de los diagnósticos

Desarrollar un modelo de SPND → hacer simulaciones

Estimar la señal de salida: corriente eléctrica

Dosis neutrónica a partir de los diagnósticos

Desarrollar un modelo de SPND → hacer simulaciones

Estimar la señal de salida: corriente eléctrica

Estudiar diferentes materiales emisor para el SPND

Dosis neutrónica a partir de los diagnósticos

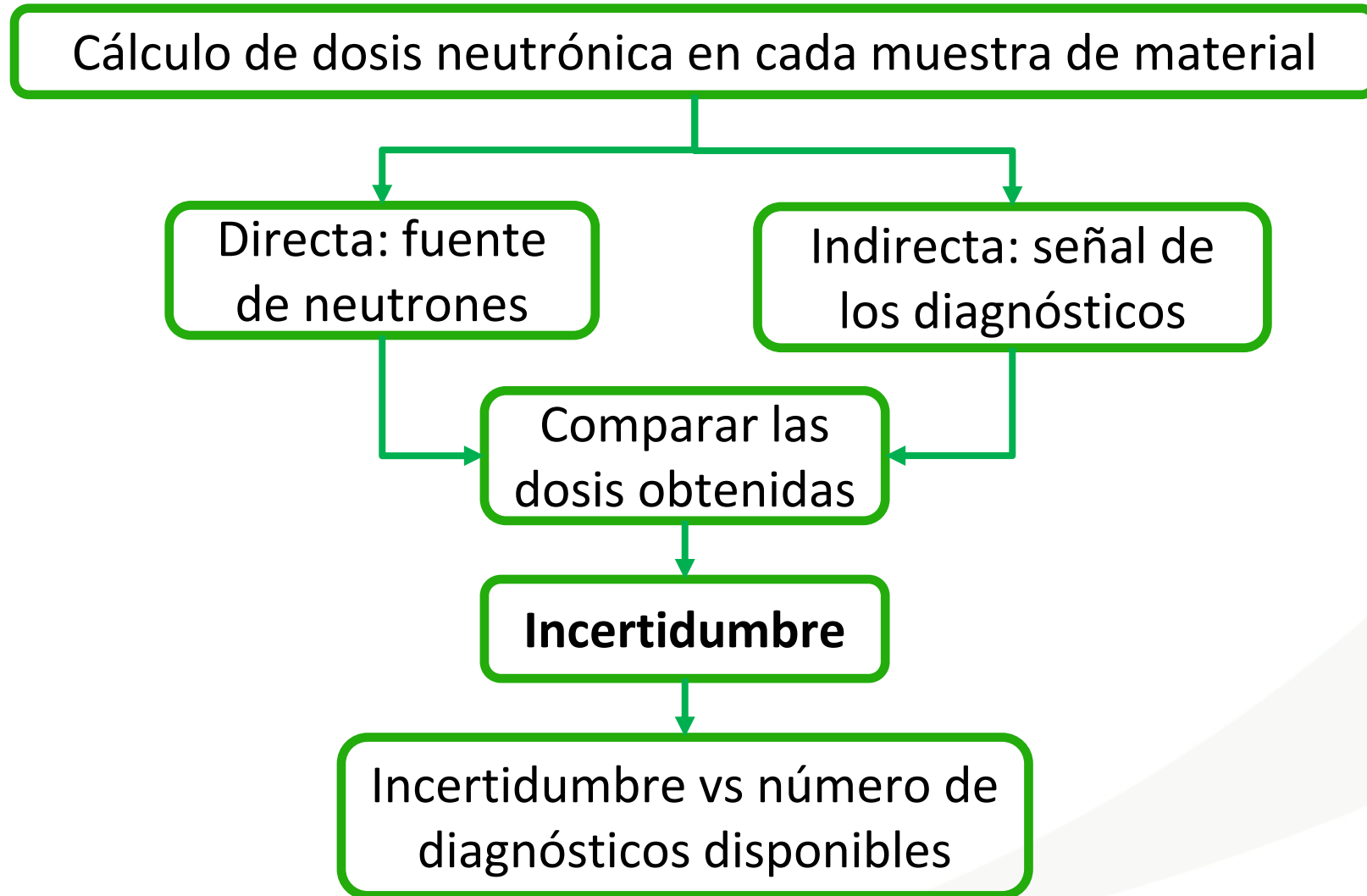
Desarrollar un modelo de SPND → hacer simulaciones

Estimar la señal de salida: corriente eléctrica

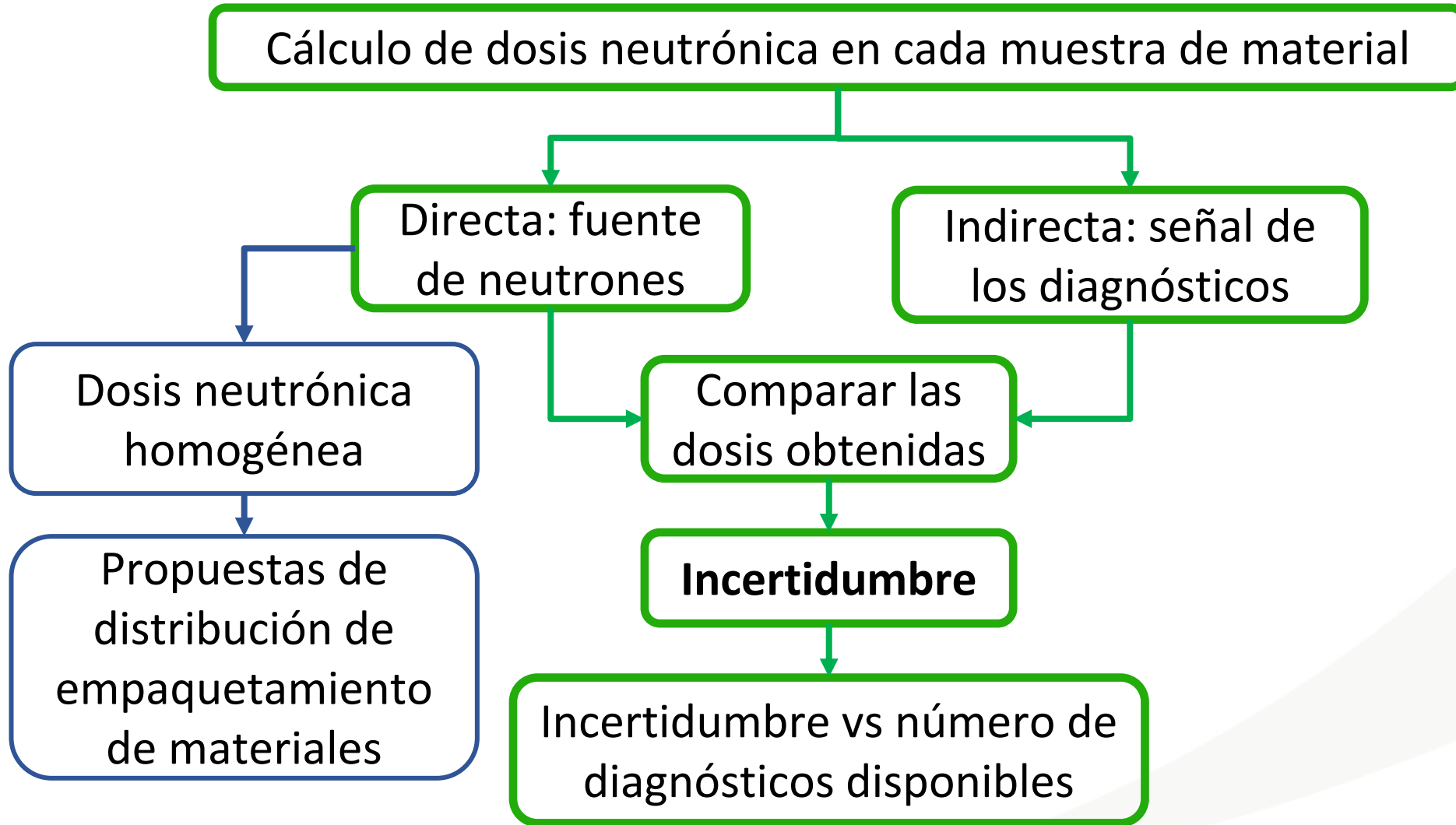
Estudiar diferentes materiales emisor para el SPND

Relacionar la corriente eléctrica con flujo neutrónico

Plan de trabajo



Plan de trabajo



Plan de trabajo

Cálculo de dosis neutrónica en cada muestra de material

Directa: fuente de neutrones

Indirecta: señal de los diagnósticos

Desarrollar un modelo de SPND para estimar la señal eléctrica

Dosis neutrónica homogénea

Comparar las dosis obtenidas

Analizar la señal del SPND en función de su material emisor

Propuestas de distribución de empaquetamiento de materiales

Incertidumbre

Incertidumbre vs número de diagnósticos disponibles

Estimación de la incertidumbre de la dosis neutrónica en las muestras a partir de los diagnósticos en el HFTM

Irene Álvarez Castro
iac@ugr.es

Marta Anguiano Millán (UGR) | Fernando Mota García (CIEMAT)

THE KEY TO THE FUTURE



GRACIAS POR SU ATENCIÓN



IFMIF-DONES
E S P A Ñ A



**UNIVERSIDAD
DE GRANADA**



FINANCIACIÓN

Subvención de carácter excepcional a la Universidad de Granada para la financiación de actuaciones y el refuerzo del impulso de la candidatura de Granada en relación con el Proyecto IFMIF-DONES