



Real
Sociedad
Española de
Física



VNIVERSITAT
DE VALÈNCIA
CSIC
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS



IGFAE
Instituto Galego de Física de Altas Enerxías



Producción de radionucleidos usando protones acelerados con láser

Adrián Bembibre Fernández
adrian.bembibre.fernandez@usc.es

Agradecimientos



A. Alejo, J. Peñas, J. Benlliure

Instituto Galego de Física Altas Enerxías (IGFAE)



Instituto de Instrumentación
para Imagen Molecular

M. Seimetz

Instituto de Instrumentación para Imagen Molecular (CSIC-i3M)



J. Apiñaniz, E. Gracia, J.L. Henares, I. Hernández, C. Méndez, P. Puyuelo

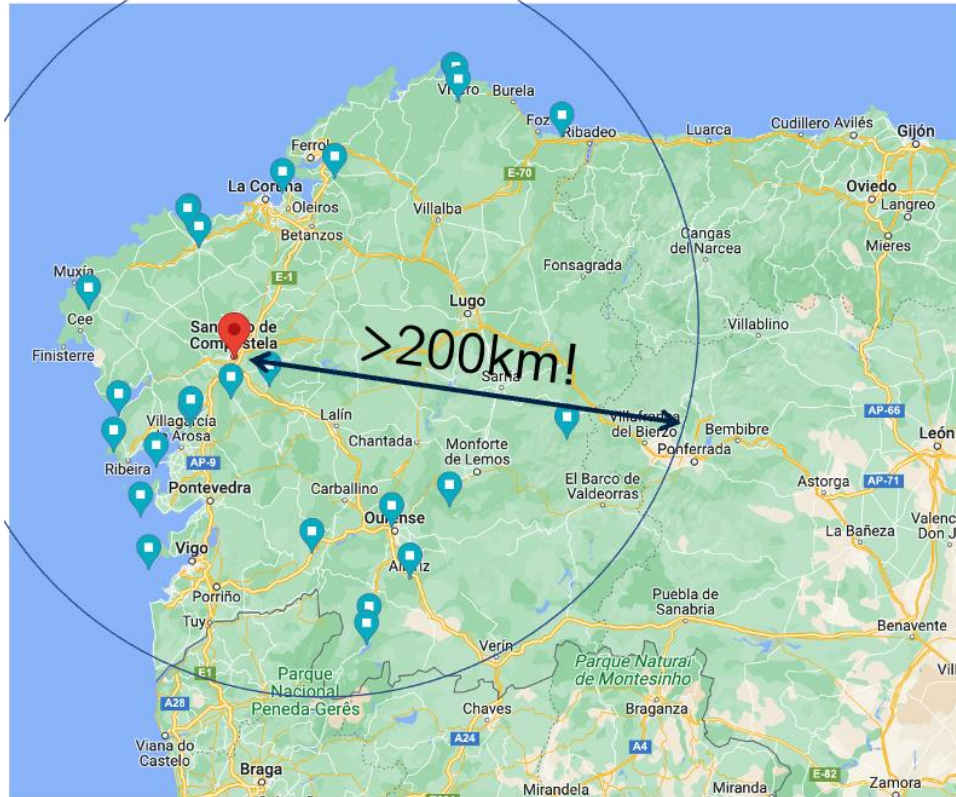
Centro de Láseres Pulsados (CLPU)



M.A. Millán, C. Guerrero

Centro Nacional de Aceleradores (CSIC-CNA)

Motivación



- La producción centralizada de radionucleidos de uso médico hace mínimo el empleo de aquellos con vidas medias cortas debido al tiempo de transporte.

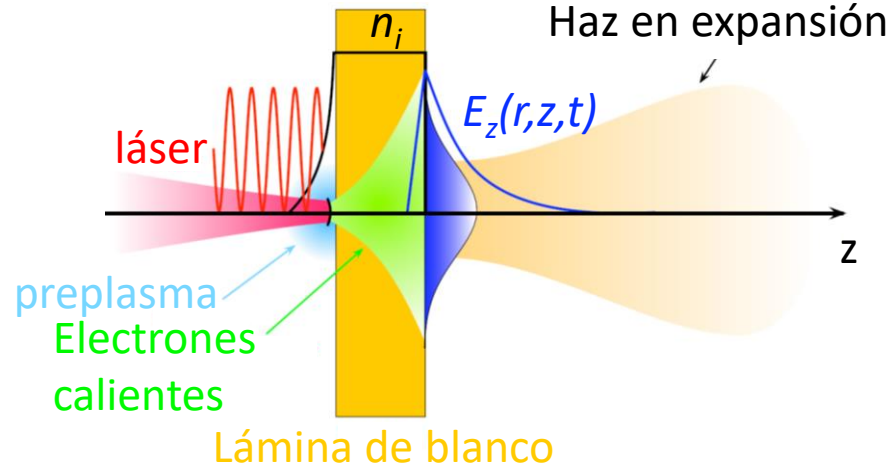
	$T_{1/2}$ [min]
^{11}C	20,23
^{13}N	9,97
^{15}O	1,87
^{18}F	109,77
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	360,43

De uso común

- Búsqueda de métodos alternativos de producción \Rightarrow Fuentes de protones basadas en aceleración láser

Aceleración de iones con láser

- El mecanismo principal es *Target Normal Sheath Acceleration* (TNSA).



- Espectro maxwelliano hasta una energía máxima (*cut-off*)
- Pulsos ultra cortos
- Cargas de nC

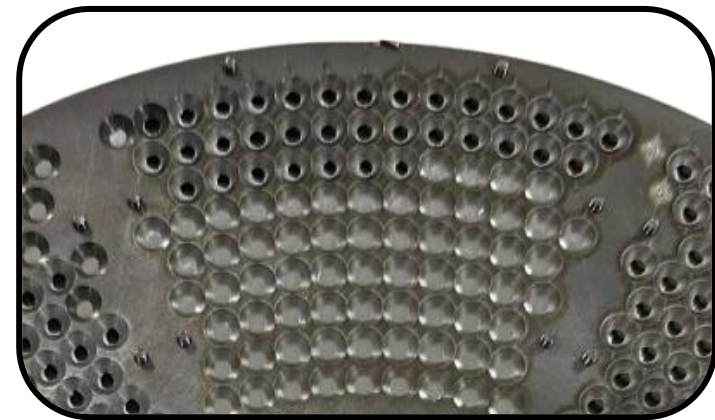
⇒ **Sistema de blancos acorde**

- La actividad requerida en aplicaciones médicas es de al menos decenas de MBq.

⇒ **Miles de disparos + Alta tasa de repetición**

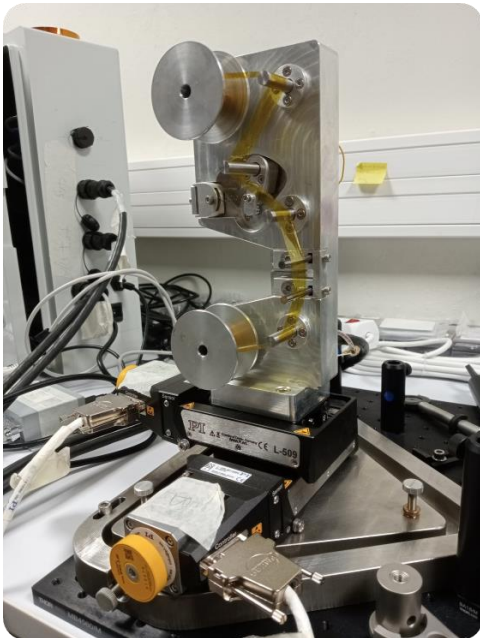
✗ **¿Inconveniente?**

- El blanco se destruye tras cada disparo

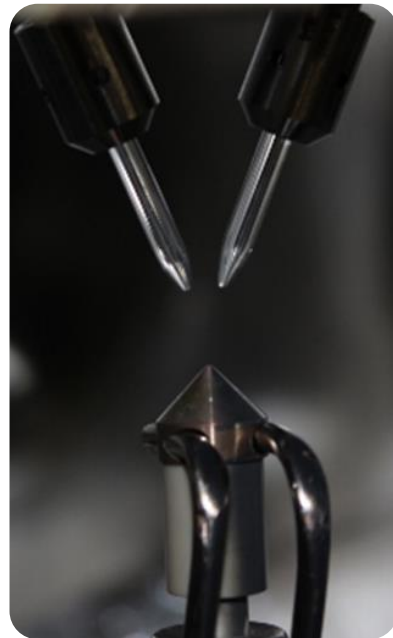


Opciones de blancos

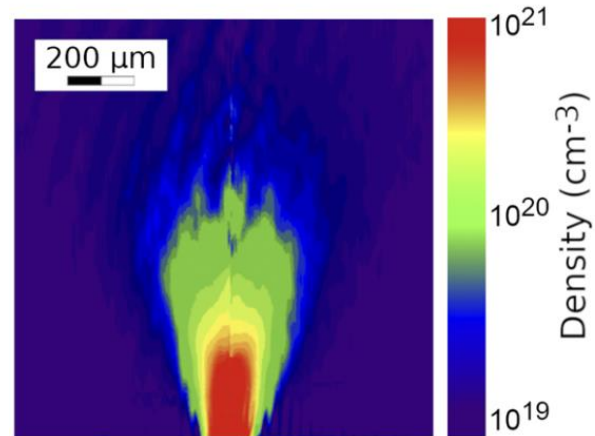
Varios tipos de blancos compatibles con alta tasa de repetición se están desarrollando:



Blanco de cinta



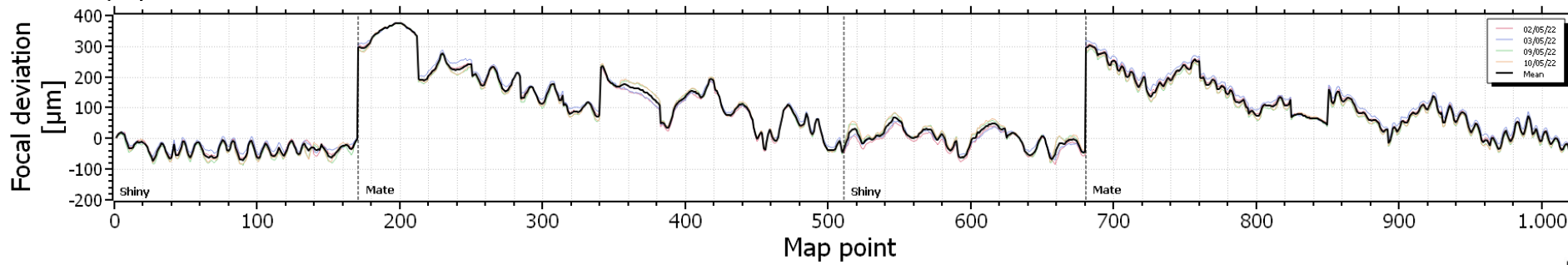
Jets líquidos



Jets de gas densos

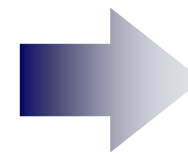
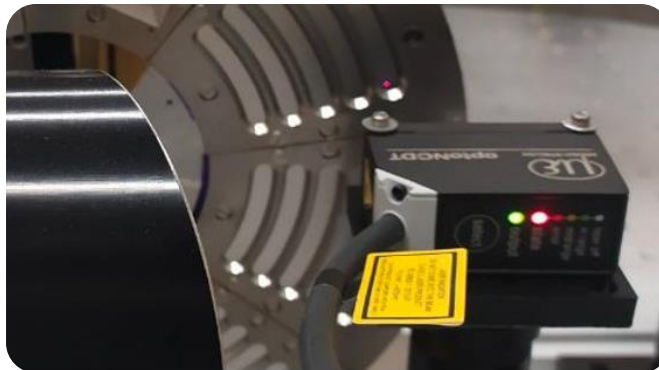
- Blancos criogénicos
- Cristales líquidos
- ...
- **Rueda rotatoria**

Rueda rotatoria. Pre-mapeado de la superficie

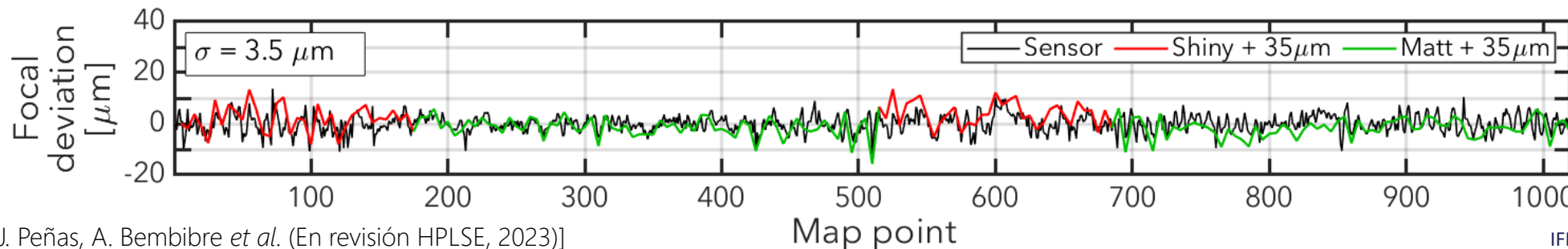
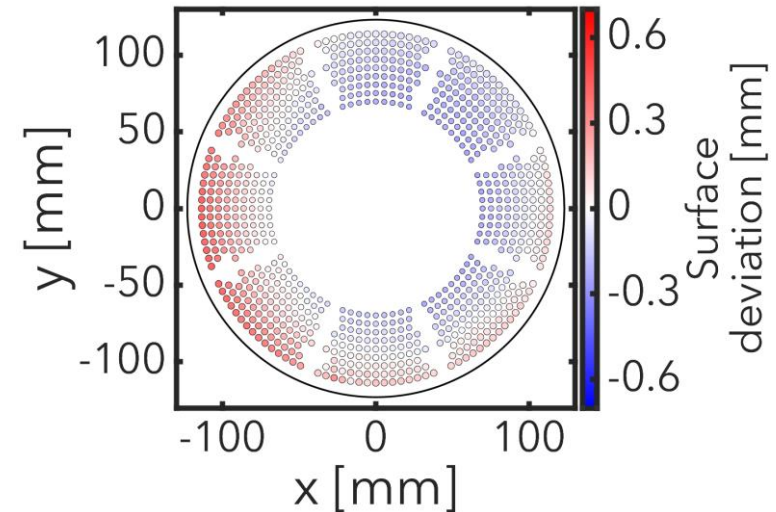


Dispersión (600 μm)
 >>
 Longitud de Rayleigh
 (pocas μm)

Pre-mapa de la superficie de los blancos



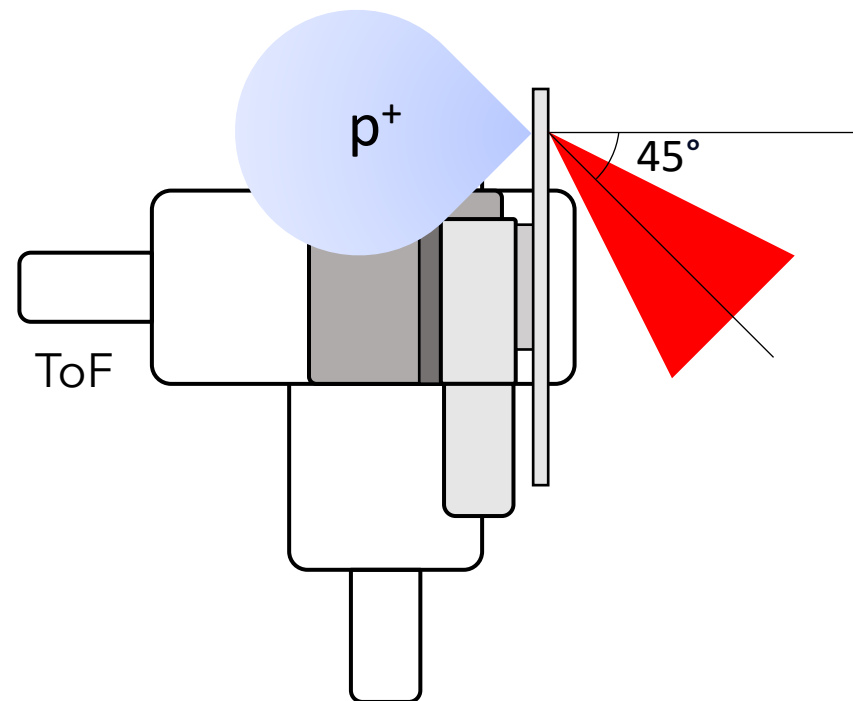
Movimientos automatizados



Posicionamiento automático con $\sigma = 3.5 \mu\text{m}$

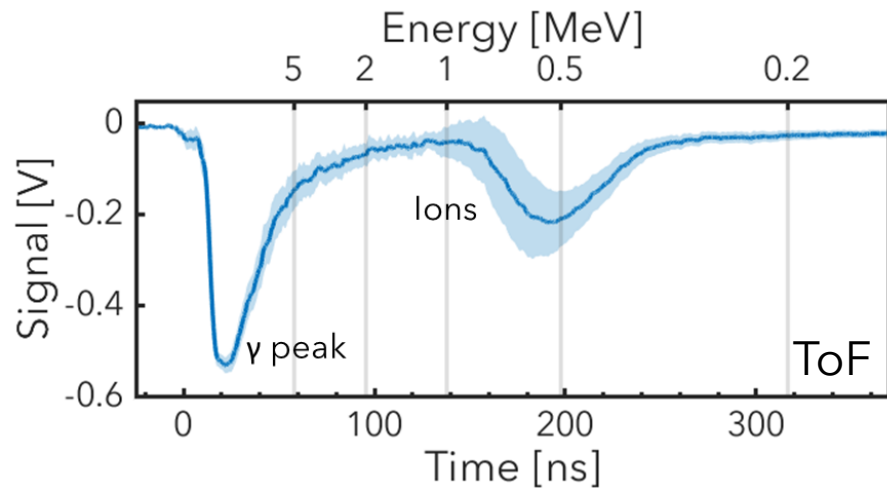
Aceleración estable a 10 Hz

- Rueda desarrollada compatible con operación a 10 Hz \Rightarrow **>5000 disparos.**
- Aceleración a 10 Hz demostrada usando el láser de 45 TW del *Laboratorio Láser de Aceleración y Aplicaciones (L2A2)*.



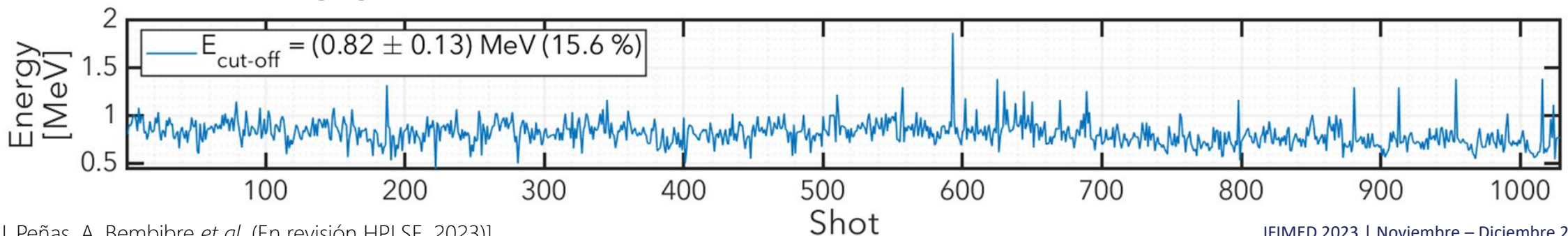
Aceleración estable a 10 Hz

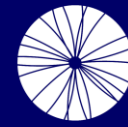
- Rueda desarrollada compatible con operación a 10 Hz \Rightarrow **>5000 disparos.**
- Aceleración a 10 Hz demostrada usando el láser de 45 TW del *Laboratorio Láser de Aceleración y Aplicaciones (L2A2).*



- Iones caracterizados por tiempo de vuelo (ToF).
- Las medidas muestran una estabilidad de la energía máxima de protones del **15.6 %**, limitada por las especificaciones del láser.

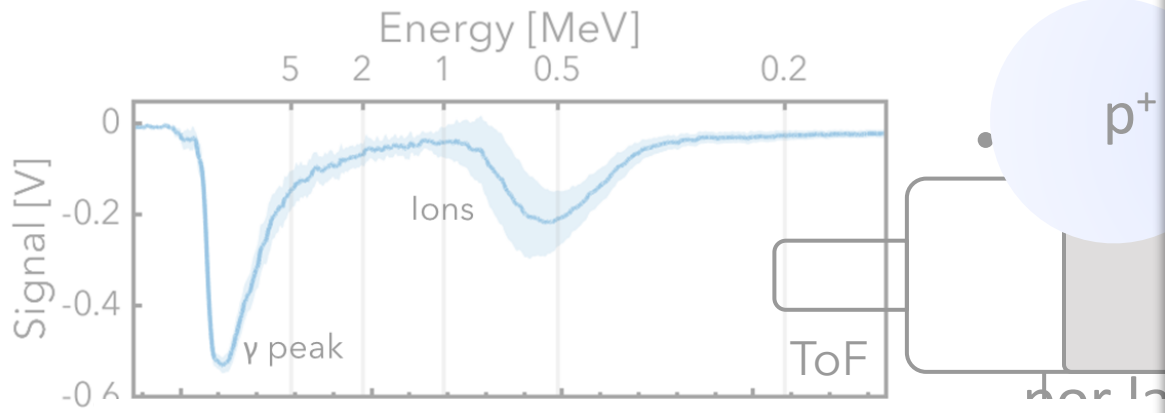
✓ ¡1ª vez!



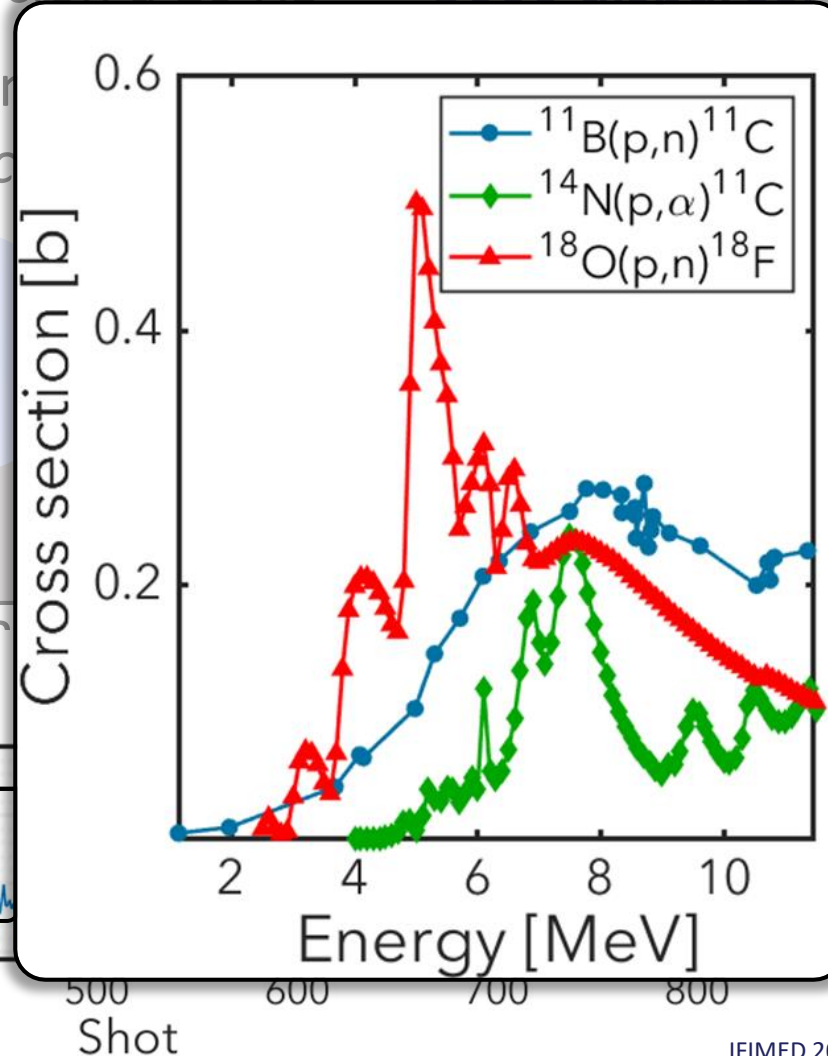
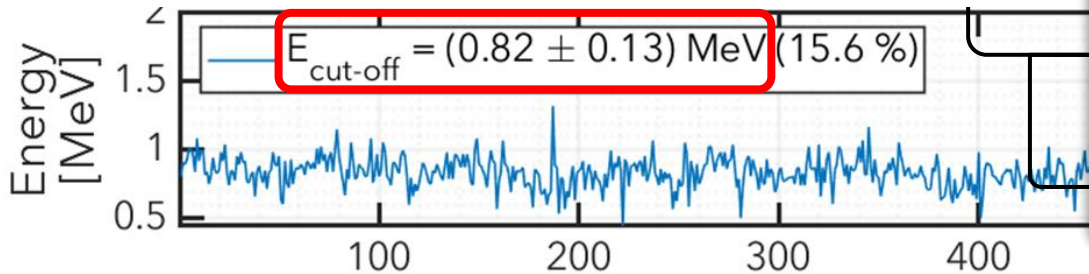


Aceleración estable a 10 Hz

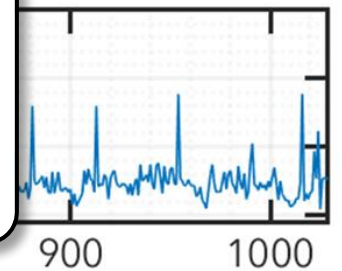
- Rueda desarrollada compatible con operación a 10 Hz \Rightarrow **>5000 disparos**
- Aceleración a 10 Hz demostrada usando *Laboratorio Láser de Aceleración y Aplicaciones*

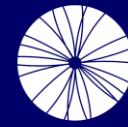


X Poca enerxía para activación

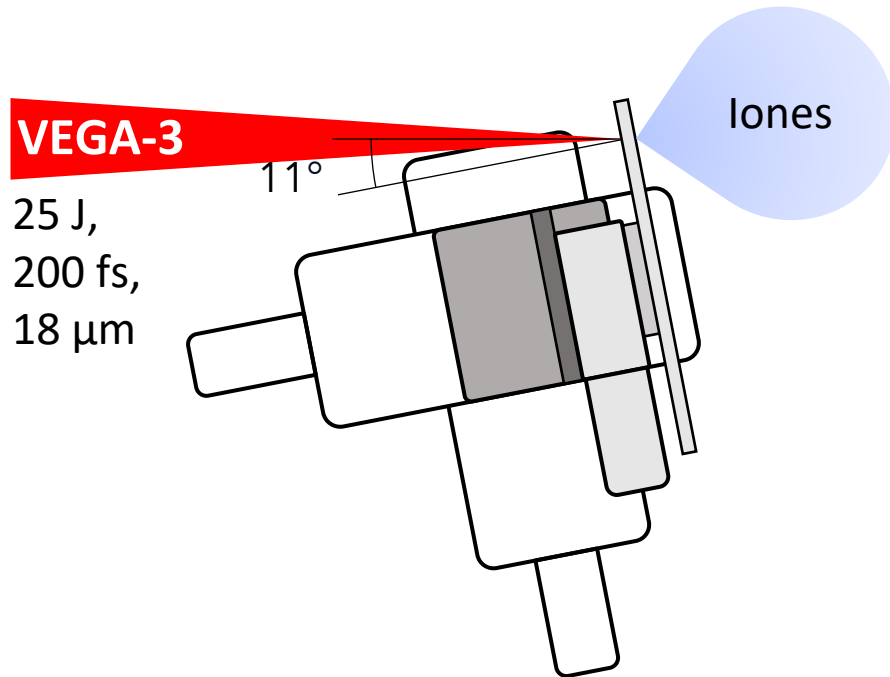


elo (ToF).
 ilidad de la
 6 %, limitada
¡1ª vez!

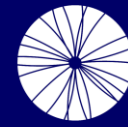




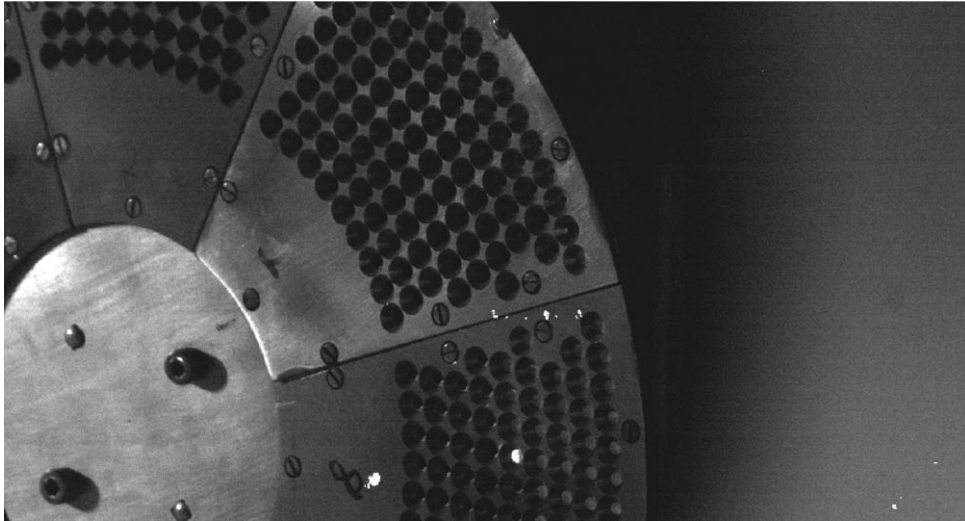
Aceleración usando un láser de PW a 1 Hz



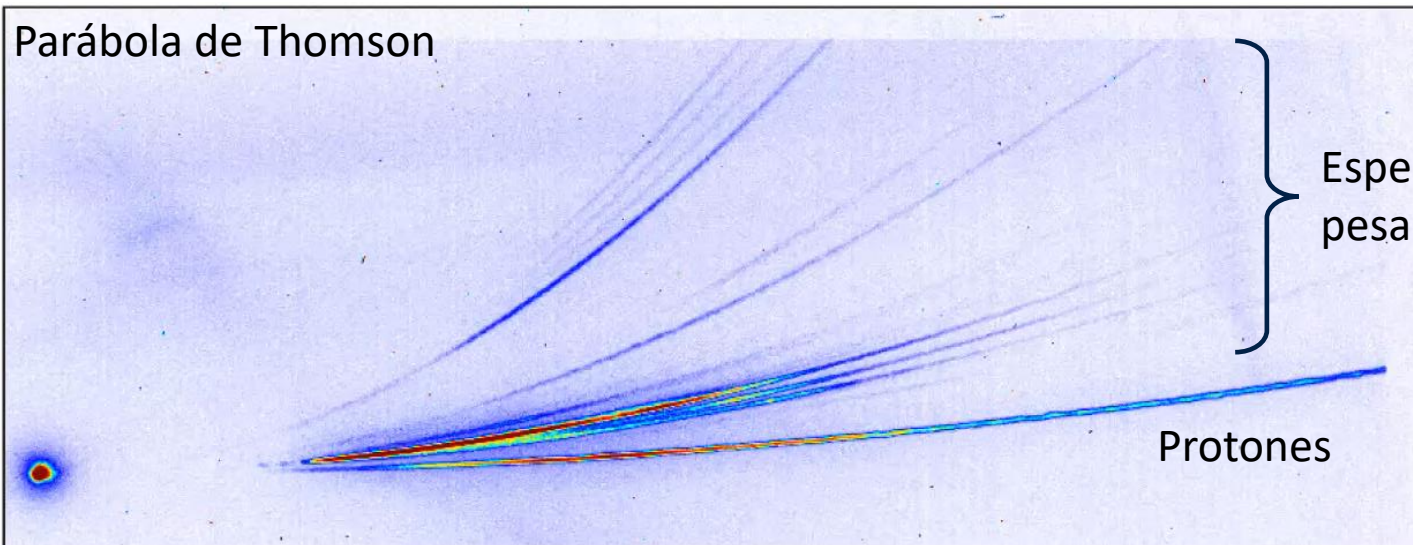
- El sistema de rueda se ha usado en el CLPU con el láser de PW VEGA-3.
- Iones acelerados con el mecanismo TNSA y caracterizados con un espectrómetro parábola de Thomson



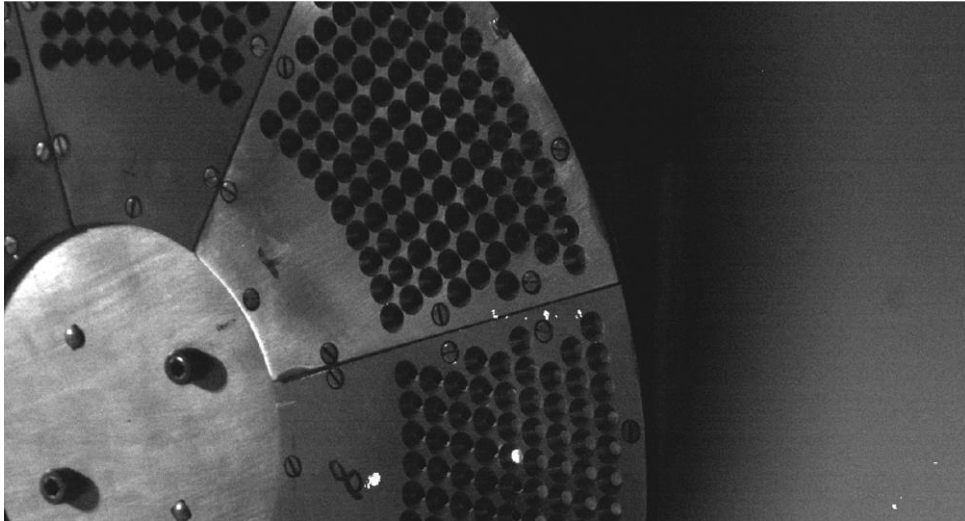
Aceleración usando un láser de PW a 1 Hz



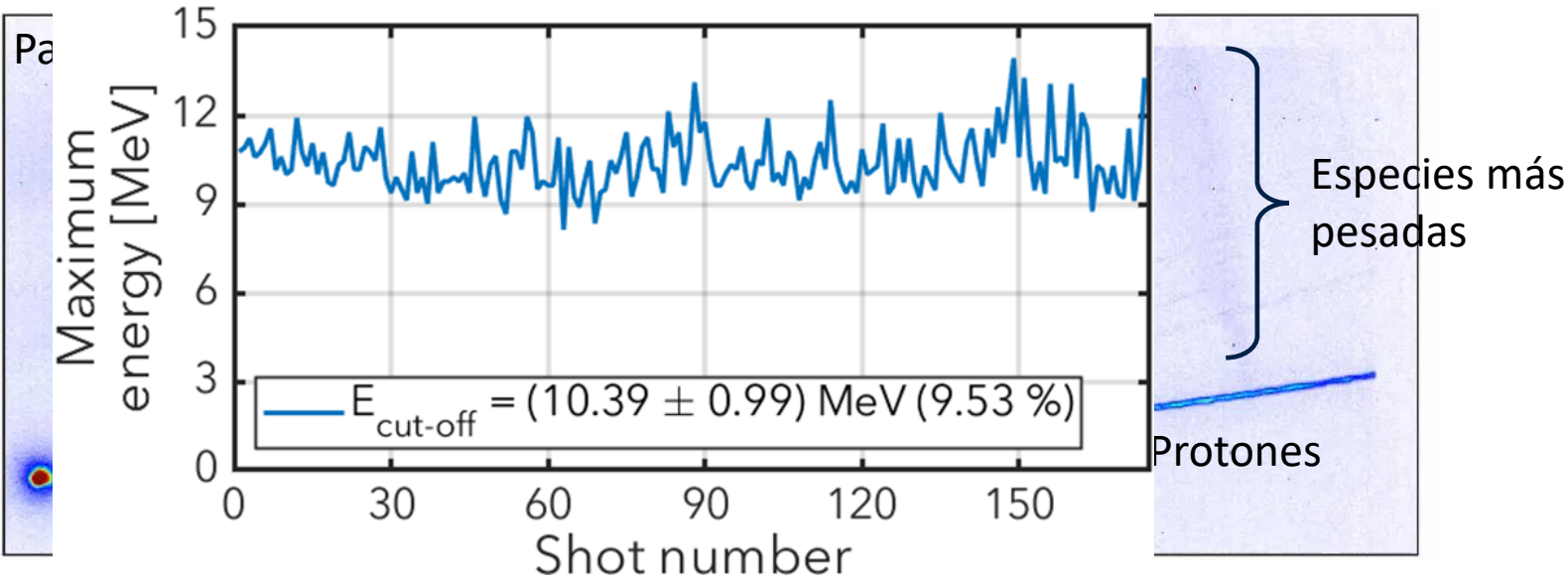
- El sistema de rueda se ha usado en el CLPU con el láser de PW VEGA-3.
- Iones acelerados con el mecanismo TNSA y caracterizados con un espectrómetro parábola de Thomson



Aceleración usando un láser de PW a 1 Hz



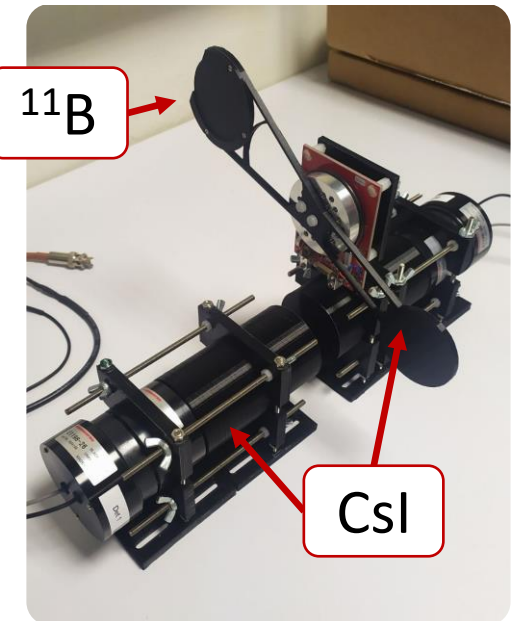
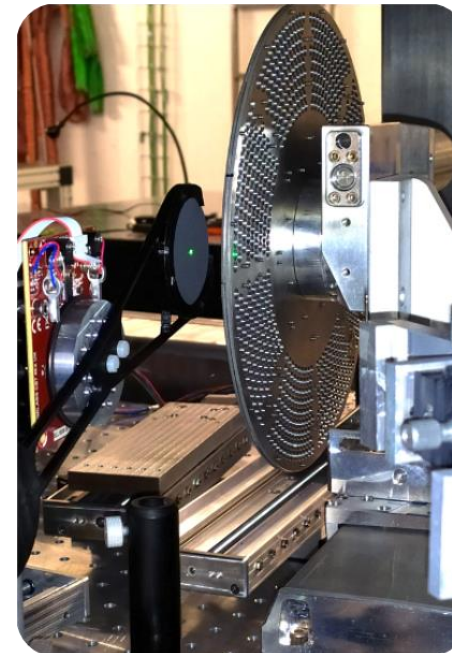
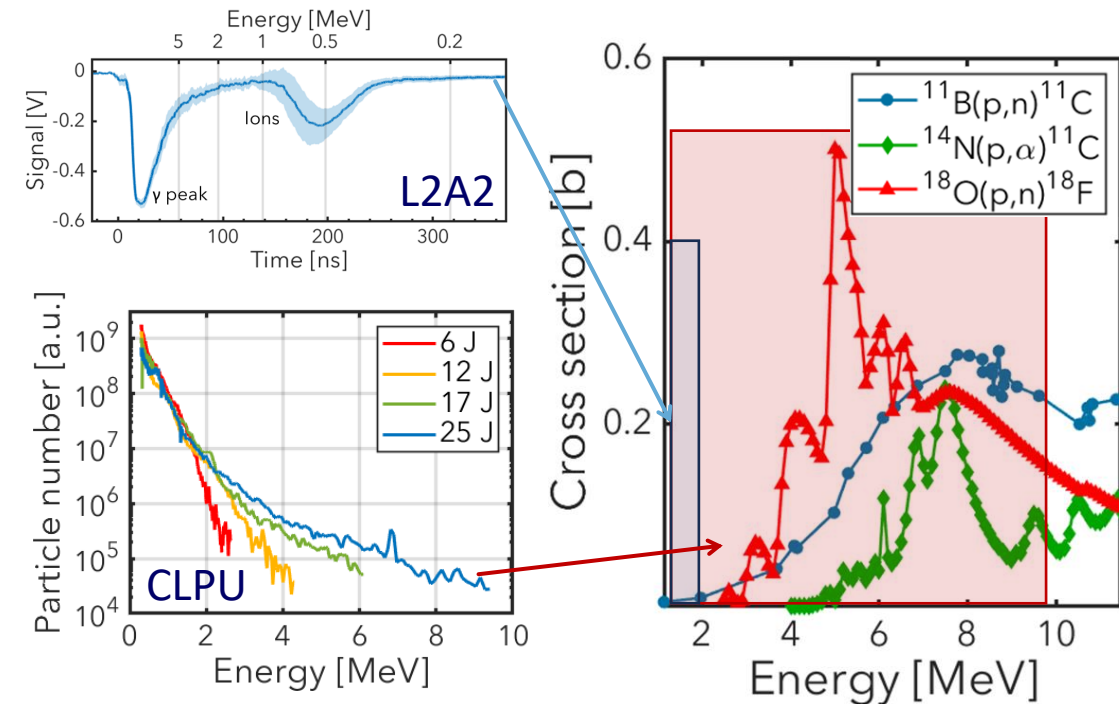
- El sistema de rueda se ha usado en el CLPU con el láser de PW VEGA-3.
- Iones acelerados con el mecanismo TNSA y caracterizados con un espectrómetro parábola de Thomson
- Se alcanzaron energías máximas de hasta 15 MeV con una estabilidad mejor que el 10 %.



Producción de radioisótopos

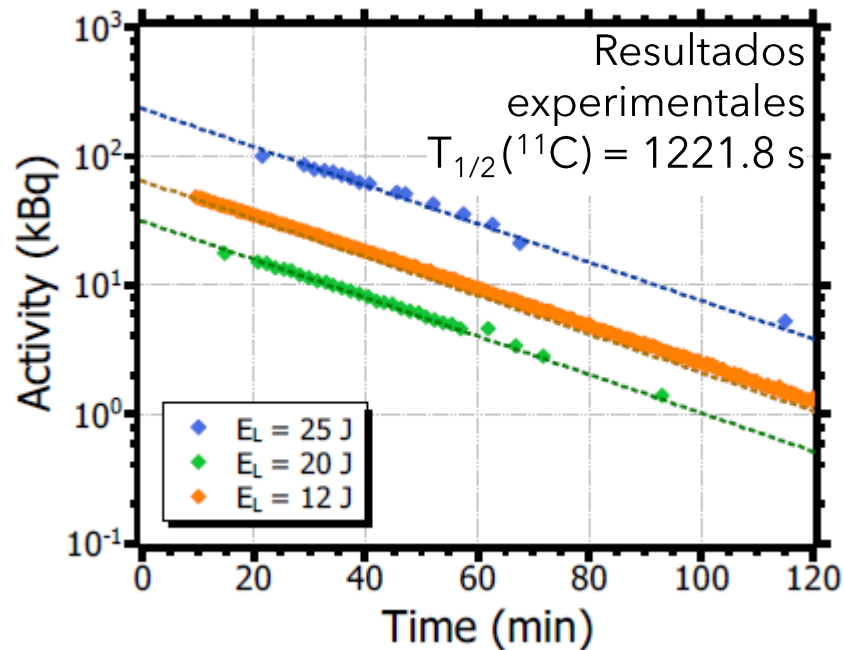
- Los radionucleidos se producen mediante la activación de un blanco secundario con las partículas aceleradas.

- Se ha desarrollado un sistema para la activación y medida de actividad en vacío empleando dos centelladores de CsI en coincidencia.



Producción de radioisótopos

- Se logró hacer activación con diferentes energías del láser empleando un disco de ^{11}B .
- La curva de decaimiento concuerda con la generación de ^{11}C .
- Actividad superior a 230 kBq con una ráfaga de sólo 20 disparos.

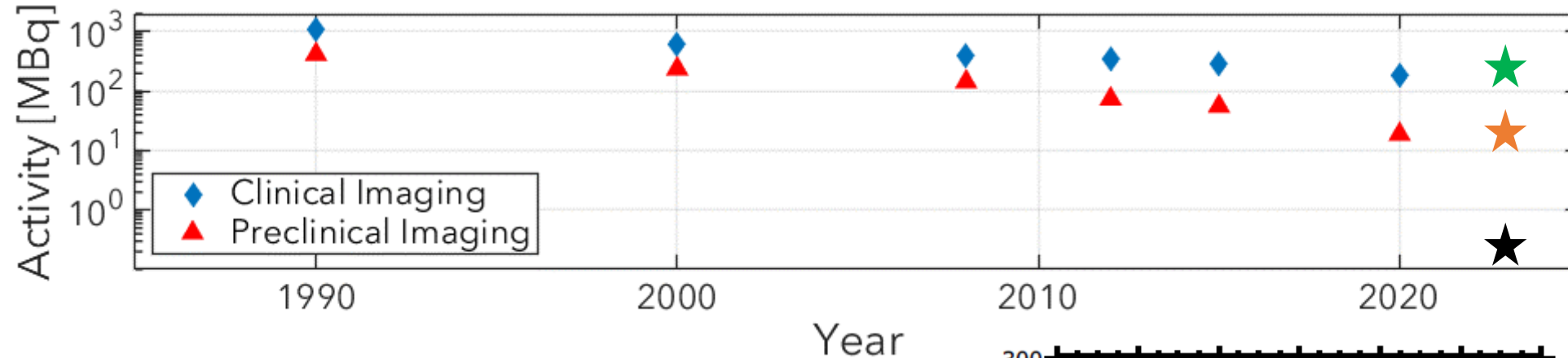


Energía del láser [J]	Tasa de Rep. [Hz]	# disparos	Actividad por disparo [kBq]	Actividad total [kBq]
12	0,2	40	1,8	68,6
20	0,1	10	3,2	31,5
25	0,1	20	12,4	233,8

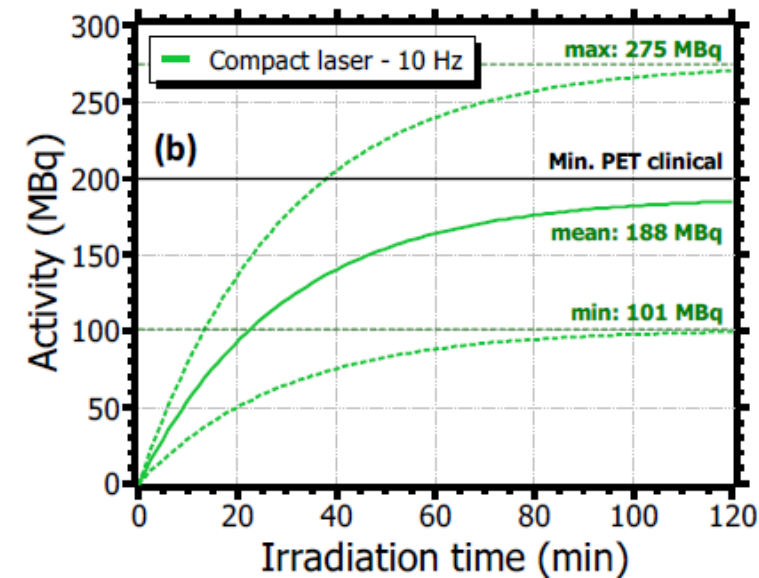
¿Suficiente para estudios clínicos?

Producción de radioisótopos

- Lo producido es insuficiente para imagen.

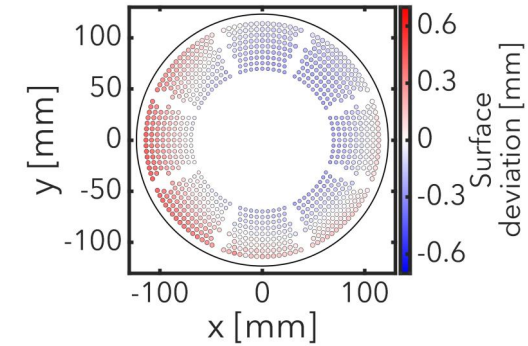
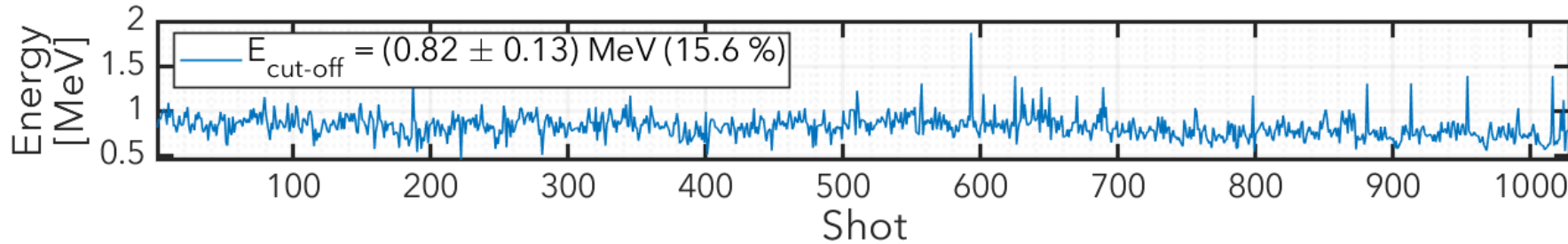


- Aumentando la frecuencia a 1 Hz se podrían alcanzar niveles preclínicos.
- Con un láser compacto a 10 Hz se podrían llegar a alcanzar actividades de uso clínico.

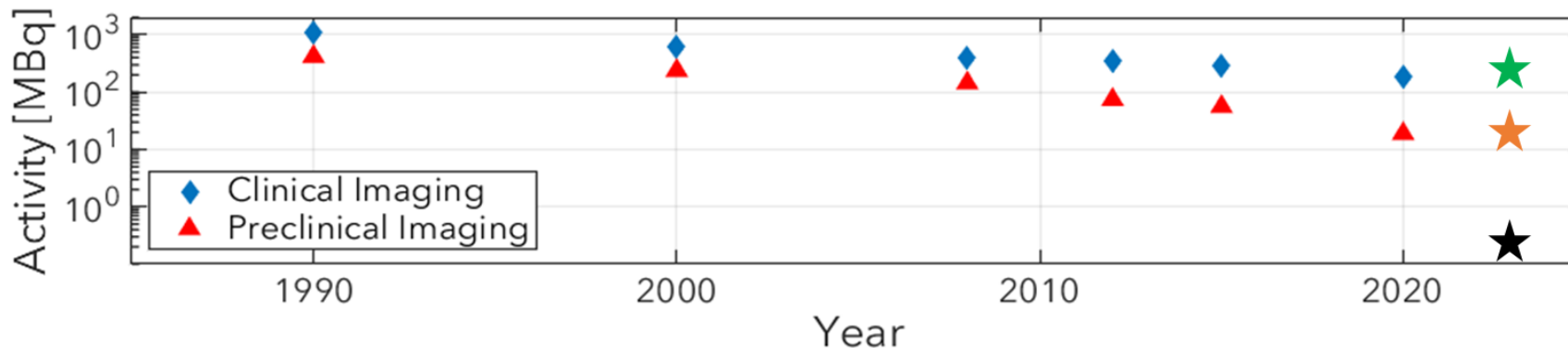


Resumen

- Se ha desarrollado un blanco de rueda operable a alta tasa de repetición basado en un sistema automatizado de alineamiento.
- Producción de un haz estable de protones.



- Generación de ^{11}C con actividades superiores a 12kBq/disparo, compatible con potenciales estudios preclínicos.
- Niveles clínicos alcanzables a corto-medio plazo.



¡Gracias!