

## CONSULTA PRELIMINAR DEL MERCADO VALIDACIÓN DE SISTEMAS Y MATERIALES EN ENERGÍA DE FUSIÓN

# Presentación de los retos tecnológicos

*D. Moisés Weber.*

Adjunto Director del Consorcio IFMIF-DONES España y  
coordinador de la iniciativa

*D. Iván Podadera.*

Coordinador Sistemas del Acelerador

## Retos Tecnológicos: Motivación

- Desde esta administración, se ha detectado que existen **nichos tecnológicos** que no están suficientemente evolucionados y que requieren de **investigación industrial** para la correcta selección de tecnologías y materiales en los **aceleradores de hadrones de alta intensidad de nueva generación** y los **sistemas de blancos experimentales y áreas de ensayos de irradiación** en grandes instalaciones científicas (**GIC**)
- En general la construcción de una GIC, en la que se requieren **tecnologías novedosas**, está expuesta a un **alto riesgo de errores de diseño o selección de materiales**, que pueden tener un importante impacto en el programa experimental.
- Para mitigar este riesgo, en lo relativo a la **selección de tecnologías y materiales**, se propone el análisis de metodologías de ensayo previo mediante **Validadores Tecnológicos Integrados (VATIs)**.
- Estos bancos de ensayo servirán para validar la **idoneidad de los diseños, la integración de sistemas, la idoneidad de las técnicas de fabricación, los materiales y las operaciones de mantenimiento y manipulación** de los futuros equipos a integrar tanto en la parte del sistema del acelerador como en los sistemas del blanco experimental y celdas de ensayo de futuras GICs.

## ¿Qué es un Validador Tecnológico Integrado?: Ejemplo#1 Espacio



Space Vehicle Mockup Facility (SVMF)

### Objetivos:

- Validar la viabilidad de realizar las operaciones necesarias para la misión
- Optimizar las operaciones y herramientas
- Banco de entrenamiento para los operadores

Se trata de simuladores: Estas partes no van al espacio



¡¡No nos podemos permitir descubrir en el espacio que una herramienta no cabe!!

## ¿Qué es un Validador Tecnológico Integrado?: Ejemplo#2 Automoción



Sistemas integrados, en operación real

### Objetivos:

- Validar la durabilidad del diseño y los materiales
- Validar la mantenibilidad en el ciclo de vida
- Optimizar el plan de mantenimiento
- Descubrir fallos de diseño
- Realizar otros ensayos destructivos



¡Ensayos destructivos del producto completo!

- Agotamiento de ciclo de vida
- Simulación de accidentes

## ¿Qué es un Validador Tecnológico Integrado?: Ejemplo#3 Defensa



VCR 8x8 Dragón.  
MINDEF-Tess Defence



Cada unidad, dedicada a un aspecto concreto del producto final



D1\_VCR - Línea



D2\_VCR - PC Cia.



D4\_VCR - VEC PC Sc.



D3\_VCOAV PC Bon.



D5\_VCR-Seg - ZAP.

### Programas

- PT\_1: Incremento de la seguridad
- PT\_2: Conciencia situacional
- PT\_3: VCOAV
- PT\_4: Integración de sistemas CIS
- PT\_5: Grupo Motopropulsor
- PT\_0: Integración

### Objetivos:

- Validar la operatividad de una parte
- Validar diseño y capacidades
- Descubrir fallos de diseño y posibles mejoras

¡Ensayos del producto completo pero con enfoque parcial!

No se agota el ciclo de vida

Posibilidad de actualizar los demostradores a la versión final



Financiado por  
la Unión Europea  
NextGenerationEU

## ¿Qué proponemos en esta iniciativa?:

### Validadores Tecnológicos Integrados para validación de sistemas y materiales en energía de fusión:

- La simulación de **viabilidad de las operaciones** ya se está realizando por medio de **realidad virtual** y simuladores virtuales
- También se están diseñando métodos de **entrenamiento de operadores** basados en **SW**
- Es **inviable tratar a la planta completa** como un producto y “rodar” todo su ciclo de vida o realizar todas las operaciones reales

### Las grandes instalaciones científicas, a menudo sufren un importante impacto en costes y plazos, por el desgaste que sufren sus sistemas en fase pre-operacional:

- Transporte e Instalación (manejo, diseño para instalación, repetición de acciones, ajustes)
- Ensayos de integración en planta (compatibilidad geométrica, eléctrica, física, protecciones, lazos de control, etc)
- Acondicionamiento pre-operacional (acondicionamiento por RF, limpiezas previas de fluidos, alineamiento, ajustes)
- Puesta en marcha (faltas, operación alejada de la zona nominal, desajustes, etc)

### Los Validadores Tecnológicos Integrados de esta iniciativa, son innovadores por:

- Estar enfocados al ensayo **no destructivo de sistemas pre-comerciales, de forma integrada, pero no integral (no toda la planta)**
- Enfocar los ensayos, **no en las propias operaciones** objetivo, sino en los **efectos de las mismas a medio plazo**
- **Los sistemas y tecnologías que implican (innovación en tres niveles)**



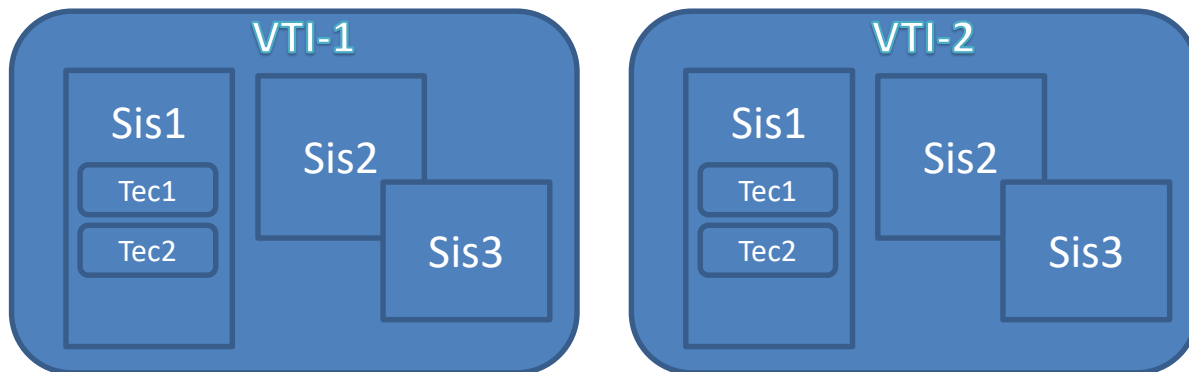
¿Podemos abrir la caja tal como se diseñó?

## ¿Qué proponemos en esta iniciativa?:

## Innovación en 3 niveles

Esta iniciativa propone retos tecnológicos que requieren de **innovación en tres niveles**. Estos mismos tres niveles son los que propician el interés para la industria de fusión y otras beneficiarias de estos desarrollos como las GIC en general:

- **Nivel 1: Validador Tecnológico Integrado** (innovador en sus **objetivos, técnicas y medios**, aplicables a **GIC's en general y otros mercados específicos**)
- **Nivel 2: Sistemas a integrar** (optimizados siguiendo los indicadores de esta iniciativa, aplicables a **GIC's con necesidades similares**)
- **Nivel 3: Tecnologías implicadas** (más allá del estado del arte para permitir la optimización del nivel 2, aplicables en **otros campos y GIC's en general**)

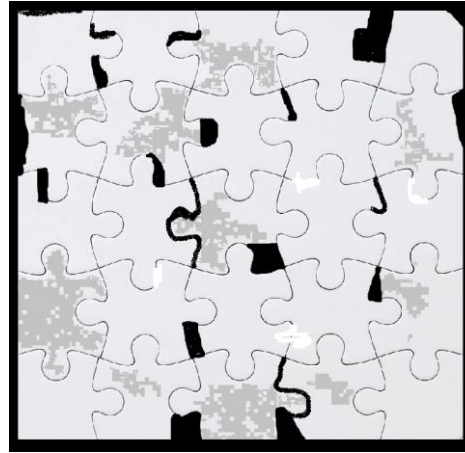




## ¿Cómo se diseña una Gran Instalación Científica nueva?



Versión actualizada del Mito de la Caverna  
(La República, Platón, Siglo IV a.C.)



Mirando al fondo de la caverna:  
Montando el **todo** entre sombras  
**Optimizar Flexibilidad de las partes**

Mirando a la salida:  
Definiendo las **partes** (requisitos, interfaces)  
**Optimizar Eficacia y Eficiencia (indicadores)**



El estado del arte de esta iniciativa se encuentra de “vuelta en la caverna”. Esto es que sus tres niveles de innovación se encuentran, en promedio, en TRL4:

**TRL\* 4:** *Validación de componentes y/o sistemas en entornos de laboratorio. Integración de los componentes tecnológicos básicos para comprobar que sus piezas encajarían y funcionarían juntos como un sistema.*

**Y con esta CPI se pretende llevar estas tecnologías a TRL 7:** *Sistema similar a gran escala demostrado en un entorno relevante. Requiere la demostración de un prototipo de sistema real en un entorno relevante. Por ejemplo, la prueba de prototipos a gran escala con una variedad de simuladores en la puesta en marcha en frío.*

La propuesta de esta iniciativa es llevar estas tecnologías (en los tres niveles) desde TRL4 a TRL7, para su aplicación en GIC’s de energía de fusión y aceleradores de partículas y otros mercados

**Buscamos propuestas innovadoras** para optimizar los diseños según los **indicadores**

Ingrediente 1

Partículas aceleradas

Ingrediente 2

Sustrato

Productos  
+  
Desechos

Reacción

Usos:

- Recolección
- Experimentos
- Mediciones

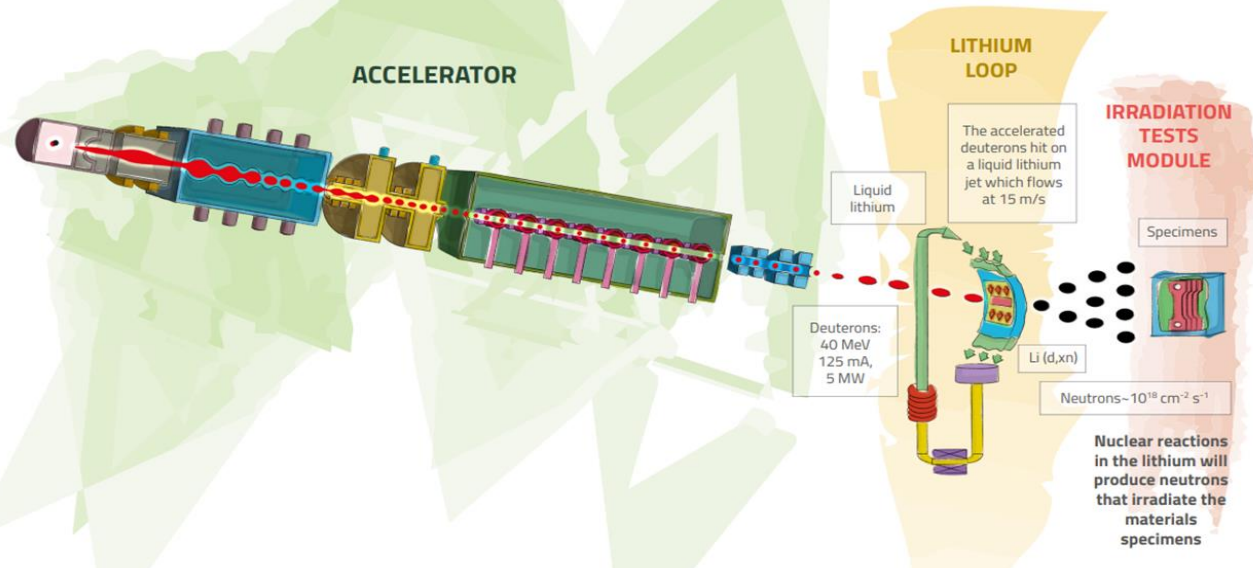
Acelerador de partículas

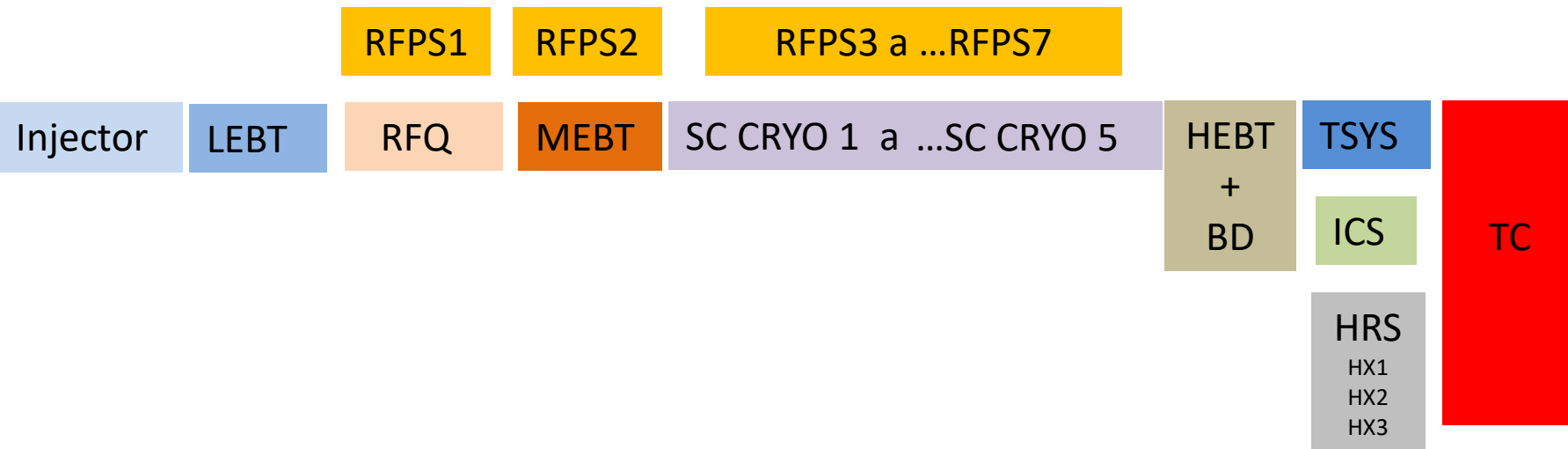
Blanco Experimental

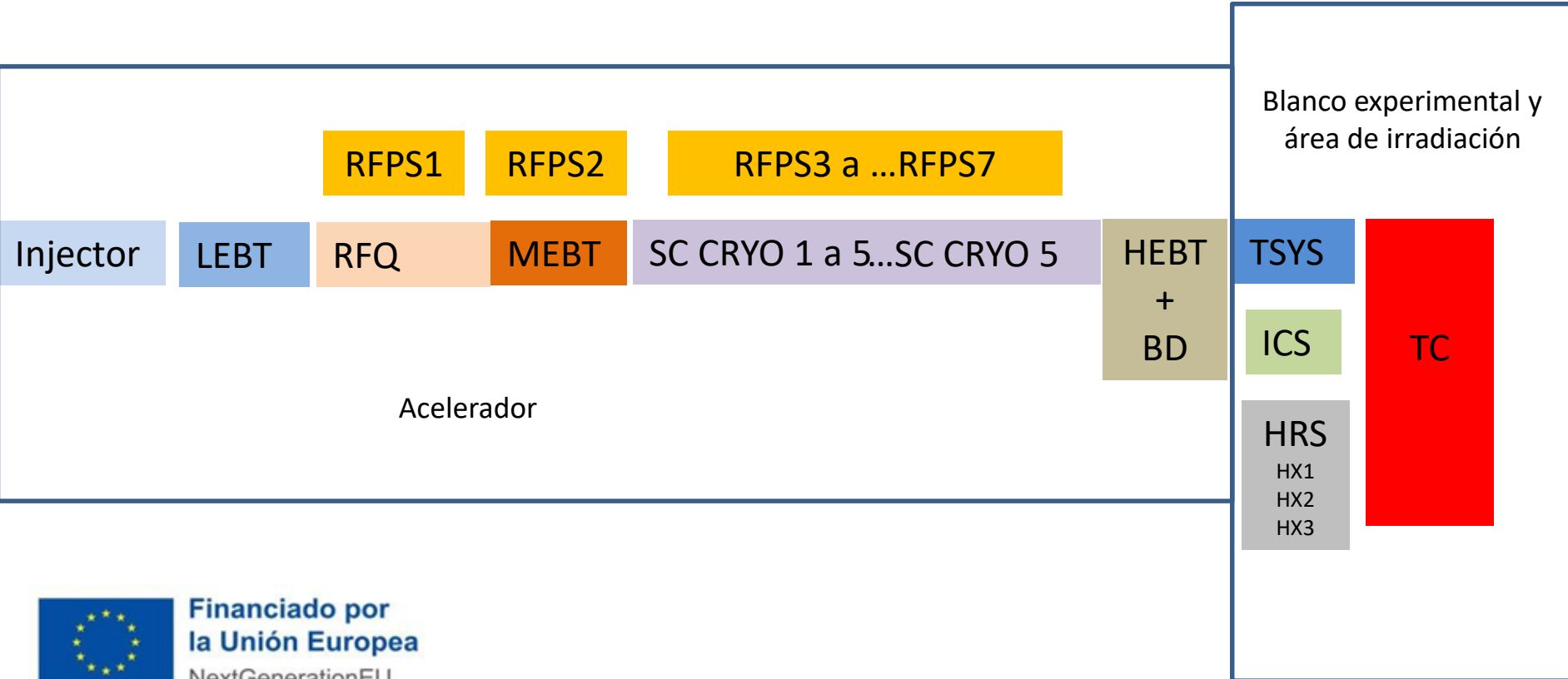
Experimento

Celda de ensayo (blindaje)

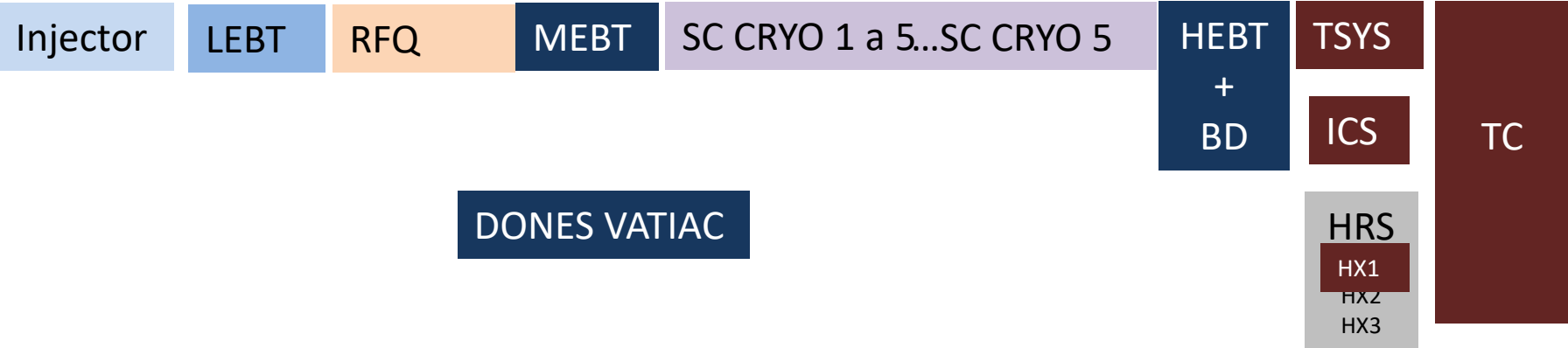
## Fuente de Neutrones para Irradiación de materiales candidatos para energía de Fusión







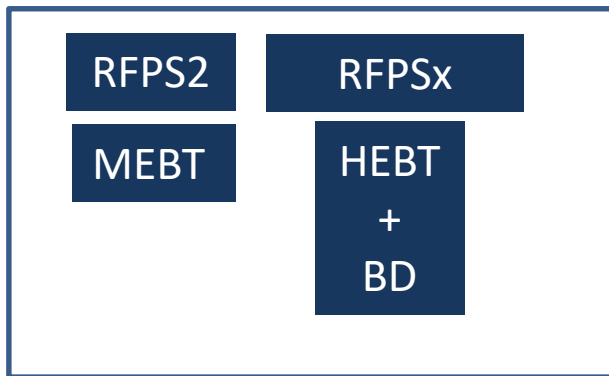
## DONES VATIST



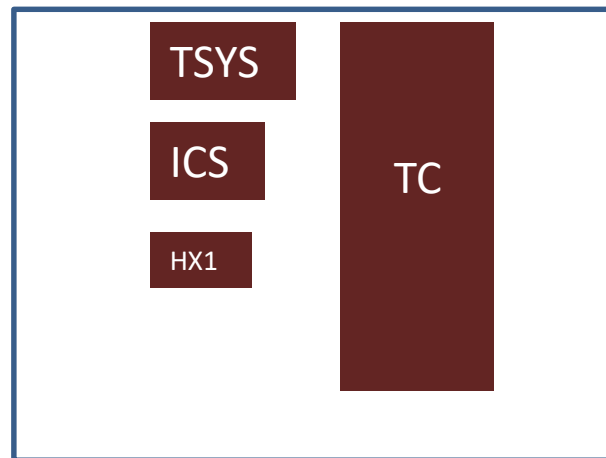
RETO 1: Validador Tecnológico Integrado de Sistemas del Acelerador (DONES VATIAC)

RETO 2: Validador Tecnológico Integrado de Sistemas de Blanco y Test (DONES VATIST)

### DONES VATIAC



### DONES VATIST





## Reto 1: DONES-VATIAC

**DONES-VATIAC** es un Validador Tecnológico Integrado capacitado para servir de banco de ensayos para:

- Realizar ensayos de **RAMI** (Reliability, Availability, Maintainability, Inspectability) sobre sus distintos **componentes innovadores, ya integrados**, para facilitar la fase de puesta en marcha de los aceleradores de las GIC.
- Realizar comprobaciones de **accesibilidad**, a los distintos componentes y establecer **protocolos optimizados de acceso y manipulación**.
- **Validar el funcionamiento integrado** de los distintos sistemas de control en distintas condiciones de uso.
- Caracterizar la **respuesta a medio plazo de los componentes frente a procesos de acondicionamiento pre-operacional**.
- Validar los procedimientos de **alineamiento e instalación, a medio plazo**.

Para ello, se ha seleccionado un conjunto de componentes de un gran acelerador de hadrones de alta intensidad, que formarán parte del validador tecnológico integrado y que permitirían realizar este tipo de actividades.

Los componentes que forman parte de **DONES-VATIAC** son:

- Línea de transporte compacta de media energía para aceleradores lineales de hadrones de alta intensidad (**MEBT**)
- Línea de transporte de alta energía con bloque de parada para aceleradores lineales de hadrones de alta intensidad (**HEBT+BD**)
- Sistema de amplificación de radiofrecuencia de alta potencia para aceleradores de partículas de alta intensidad (**RFPS**)

## Reto 2: DONES-VATIST

**DONES-VATIST** es un Validador Tecnológico Integrado con las siguientes capacidades:

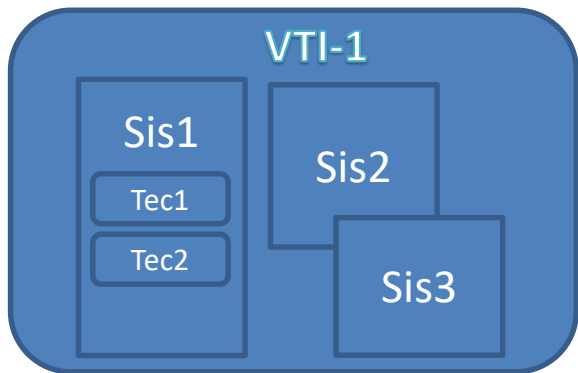
- Realizar ensayos de **RAMI** (Reliability, Availability, Maintainability, Inspectability) sobre sus distintos **componentes innovadores, ya integrados**, para facilitar la fase de puesta en marcha de los componentes de Sistemas de Blancos Experimentales y Celdas de Ensayos que se vayan a instalar, en GICs como IFMIF-DONES o similares
- Realizar comprobaciones de **accesibilidad**, a los distintos componentes tanto mediante actuadores remotos (teleoperación) como mediante operadores humanos (montaje inicial) y establecer **protocolos de acceso y manipulación**.
- Validar el **funcionamiento integrado** de los distintos sistemas de control en distintas condiciones de uso.
- Caracterizar la **respuesta a medio plazo de los componentes frente a procesos de acondicionamiento pre-operacional**.
- Validar los procedimientos de **alineamiento e instalación, a medio plazo**.

Para ello, se ha seleccionado un conjunto de componentes típicos de una gran instalación científica, con características muy novedosas, que se ensamblarán como parte del validador tecnológico integrado y que permitirían realizar este tipo de actividades.

Los componentes que forman parte de DONES-VATIST son:

- Sistema de control de impurezas de litio líquido (**ICS**)
- Blanco experimental de litio líquido (**TSYS**)
- Intercambiador de calor con primario de litio líquido (**HX1**)
- Componentes críticos de una Celda de Ensayos (**TC**)

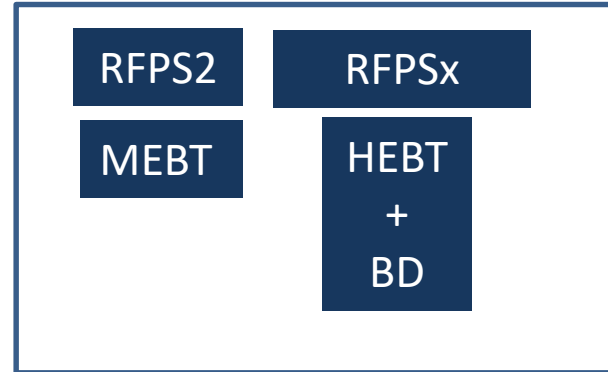
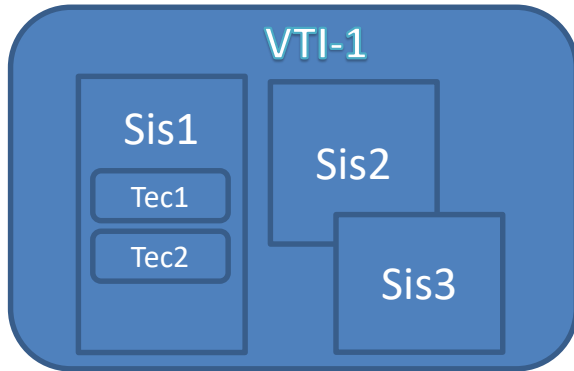
### Nivel 1: Validador Tecnológico Integrado



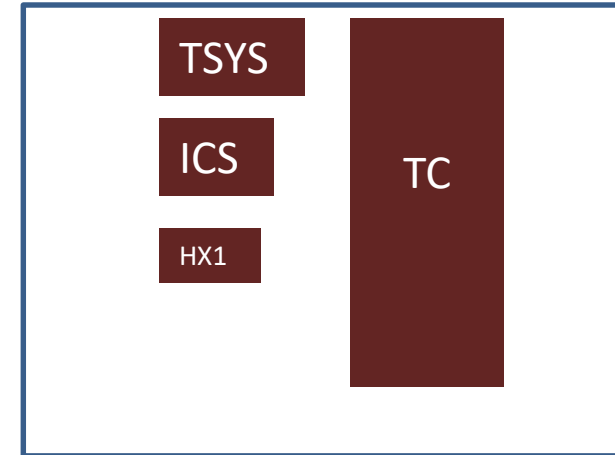
1. Mejora de los tiempos de integración y puesta en marcha
2. Mejora de los tiempos de mantenimiento (disponibilidad de instalaciones y experimentos)
3. Reducción de la frecuencia de fallas
4. Mejora de la eficiencia energética y los costes de explotación
5. Incremento de capacidades de los sistemas críticos de las GIC

Niveles 2 y 3: Sistemas Integrados y Tecnologías implicadas

### DONES VATIAC

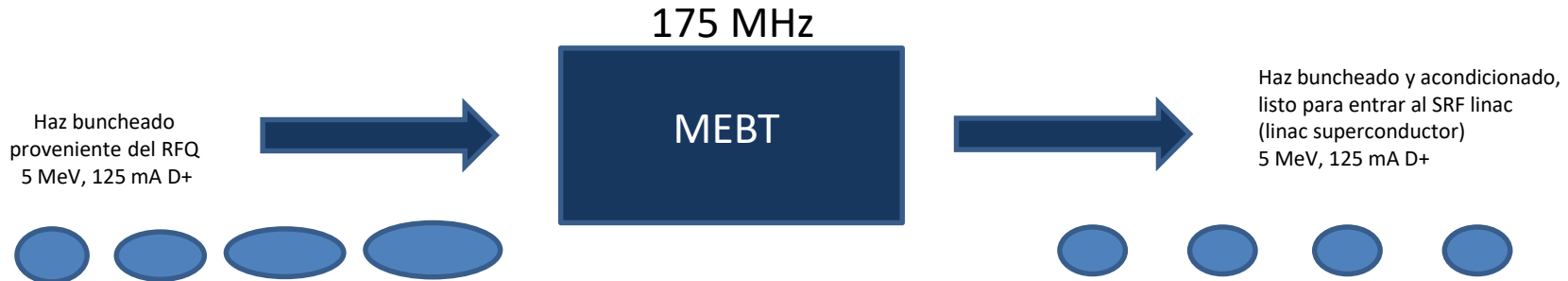


### DONES VATIST



## MEBT (Medium Energy Beam Transport)

Líneas de transporte de media energía, también referidas a veces como MS (Matching Section, o Sección de Acoplamiento)



**Misión:** Acondicionar el haz a la salida del RFQ para llevarlo al SRF Linac  
**Condicionado por:** Corriente de haz, espacio disponible (lattice), activación de los materiales y protección a pérdidas del haz  
**Tecnologías:** Imanes, fuentes de alimentación, cavidades resonantes, RF, diagnósticos de haz y de RF, mecánica compleja (cobre, aluminio, acero) y soportes mecánicos, uniones metal-cerámico, colimadores, refrigeración, ultra alto vacío, control rápido.

## HEBT+BD (High Energy Beam Transport + Beam Dump)

Líneas de transporte de alta energía y bloque de parada

Haz acelerado  
proveniente del linac  
40 MeV, 125 mA D+



Haz acelerado,  
colimado y listo para  
impactar en el  
blanco experimental  
40 MeV, 125 mA D+

Haz en pruebas o desechado,  
enviado a descarga en el  
bloque de parada  
40 MeV, 125 mA D+, 50 kW  
térmicos, blindaje

**Misión:** Transportar y dar forma al haz acelerado hasta el blanco experimental o el bloque de parada. También incluye medidas de caracterización del haz.

**Condicionado por:** Corriente de haz, requisitos del blanco y otros experimentos complementarios y distancias

**Tecnologías:** Imanes, fuentes de alimentación, mecánica compleja y soportes mecánicos, uniones metal-cerámico, ultra alto vacío, control rápido, diagnósticos de haz, colimadores, blindaje, refrigeración.

## RFPS (Radio Frequency Power System)

Sistema de potencia por radiofrecuencia

Señales de control  
y alimentación AC



Señal de RF de hasta 200 kW,  
pulsada o continua en la cavidad  
aceleradora:

- Sincronizada
- Regulada
- Protegida

**Misión:** Generar y transmitir la señal de RF apropiada para producir el campo acelerador en las cavidades resonantes del acelerador.

**Condicionado por:** Potencia, frecuencia, velocidad de protecciones, nivel de sincronización requerido, fiabilidad y redundancia

**Tecnologías:** fuentes, amplificadores de RF, electrónica rápida (sincronización, regulación y protección), refrigeración, control, líneas de transmisión de RF, mecánica del cobre, EMC.



## Niveles 2 y 3: Sistemas (MEBT, HEBT+BD, RFPS) y Tecnologías Implicadas

1. Innovación tecnológica de los componentes y grado de mejora de capacidades sobre el estado del arte
2. Nivel de consecución de las características funcionales
3. Eficiencia energética de los equipos
4. Flexibilidad de adaptación a la evolución de los modos de operación
5. Accesibilidad de los componentes para instalación y mantenimiento
6. Economía de recursos, con costes optimizados de adquisición, operación y mantenimiento

## ICS (Impurity Control System)

Sistema de control de impurezas en el litio

Flujo de litio líquido extraído del circuito principal, aguas abajo del Blanco Experimental



Flujo de litio líquido purificado. inyectado en el circuito principal de litio

**Misión:** Extraer, purificar y reinyectar un caudal parcial de litio del circuito principal, para mantener el nivel de impurezas dentro de los límites operacionales.

**Condicionado por:** Impurezas (tritio, Be-7, otros metales activados, O, N,H, etc), condiciones térmicas, corrosión, vida útil, nivel de flujo, especificidad del litio.

**Tecnologías:** Bombeo electromagnético para metales líquidos, trampas de impurezas, sensores de impurezas, manejo de litio líquido, control y sistemas de seguridad, mecánica compleja y soportes mecánicos, refrigeración.

## TSYS (Target System)

Blanco experimental de litio líquido circulante



**Misión:** Conformar la cortina de litio líquido que actúa como blanco de las partículas, garantizar su estabilidad, recibir el haz de partículas y soportar su energía de manera estable y soportar el daño producido por los neutrones durante su ciclo de vida.

**Condicionado por:** Energía del haz, estabilidad de la cortina de litio, alto flujo de neutrones, exposición de metal líquido a alto vacío, control de atmósfera interior y seguridad, ciclo de vida mínimo.

**Tecnologías:** Fluidos dinámicos, mecánica compleja con nuevos materiales, sensores especiales, control avanzado.

## HX1 (Heat Exchanger 1)

Intercambiador de calor para primario de litio líquido

Flujo de litio líquido a alta temperatura proveniente del TSYS, tras la reacción



Flujo de litio líquido a baja temperatura listo para ingresar al TSYS, para la reacción



Flujo de fluido secundario frío



Flujo de fluido secundario caliente

**Misión:** Extraer el calor del litio líquido calentado en el blanco experimental por el impacto del haz de partículas para devolverlo a condiciones de entrada al blanco  
**Condicionado por:** Energía a disipar, isótopos radiactivos, exposición al litio a alta temperatura, corrosión, selección de fluido secundario, control de flujo y seguridad.  
**Tecnologías:** Fluido dinámica, mecánica compleja, termodinámica, corrosión y materiales especiales

## TC (Test Cell)

### Celda de Ensayos (componentes críticos)

#### Inputs:

- Haz de partículas
- Litio circulante
- Cableado de sensores
- Tuberías y fluidos refrigerantes
- Productos de la reacción
- TSYS
- Módulos de muestras (HFTM, otros)
- Elementos de control remoto



Temperatura y atmósfera interior estables  
Dosis exterior menor a 1 mSv/h

**Misión:** Contener el blanco experimental y los módulos de ensayo con los sistemas auxiliares necesarios y permitir el acceso a los mismos. Permitir la sustitución parcial de sus propios componentes (modularidad). Mantener la atmosfera interior en niveles químicos y físicos adecuados. Acoger la llegada del haz de partículas y permitir la salida de neutrones para experimentos anejos. Garantizar la seguridad exterior en los niveles especificados.

**Condicionado por:** Energía a disipar, alto flujo de neutrones, accesibilidad a manejo remoto, espacio interior, nivel de blindaje, modularidad y seguridad.

**Tecnologías:** Blindajes, refrigeración y transmisión de calor, exposición a neutrones, electrónica, cableado y mecánica expuestas, hormigones especiales, construcción de grandes componentes de acero, vacío, control de atmósfera.

## Niveles 2 y 3: Sistemas (TSYS, HX1, ICS, TC) y Tecnologías Implicadas

1. Innovación tecnológica de los componentes y grado de mejora de capacidades sobre el estado del arte
2. Nivel de consecución de las características funcionales
3. Eficiencia energética
4. Flexibilidad de adaptación a la evolución del diseño de componentes relacionados
5. Accesibilidad y manejo de los componentes para instalación y mantenimiento remoto
6. Economía de recursos, con costes optimizados de adquisición, manejo, operación y mantenimiento

### Validación a nivel de Sistemas y Tecnologías, Niveles 2 y 3:

- Pruebas FAT (Factory Acceptance Tests) de cada componente o subcomponente (según convenga) en cada fábrica
- Pruebas SAT (Site Acceptance Tests) realizados individualmente para cada componente, en la ubicación final en Escúzar (Granada).

### Validación a nivel de Validador Tecnológico Integrado, Nivel 1:

- Pruebas SAT (Site Acceptance Tests) de DONES-VATIAC y de DONES VATIST. Estas pruebas tienen como finalidad confirmar que los VATI podrán realizar todas las operaciones previstas por parte de IFMIF-DONES España para cubrir las necesidades de estos RETOS TECNOLÓGICOS.



## ¿Qué os pedimos a los operadores económicos?

### Nivel 3: Tecnologías (RF, vacío, blindajes, fabricación, materiales, etc...)

- ¿Qué tecnologías innovadoras podríamos utilizar para superar estos retos planteados en el nivel 2 y 1?
- ¿Cuáles son las ventajas e innovaciones que aportarían?
- ¿Qué mercados potenciales tienen estas tecnologías? (GICs en general, Fusión, otros mercados, etc.)

### Nivel 2: Sistemas MEBT, HEBT+BD, RFPS, ICS, TSYS, HX1, TC

- ¿Cómo serían los sistemas que necesitamos integrar, utilizando esas tecnologías innovadoras (Nivel 3) y otras?
- ¿Cómo nos sirven estas innovaciones para avanzar en los indicadores que hemos planteado?
- ¿Qué mercados potenciales tienen estos componentes (ej. IFMIF-DONES, 2º acelerador de IFMIF-DONES, AFNS, otras GICs con aceleradores de hadrones de alta intensidad, otros mercados... )

### Nivel 1: Validadores Tecnológicos Integrados orientados a ensayos de validación de diseños y materiales

- ¿Cómo se podrían ensayar los aspectos propuestos en esta iniciativa, sobre los sistemas del nivel 2?
- ¿Qué ventajas ofrecen esas fórmulas y cuál es su nivel de innovación?
- ¿En qué mercados potenciales podrían utilizarse estas técnicas?

**Gracias por vuestra atención e interés**



**Financiado por  
la Unión Europea**  
NextGenerationEU