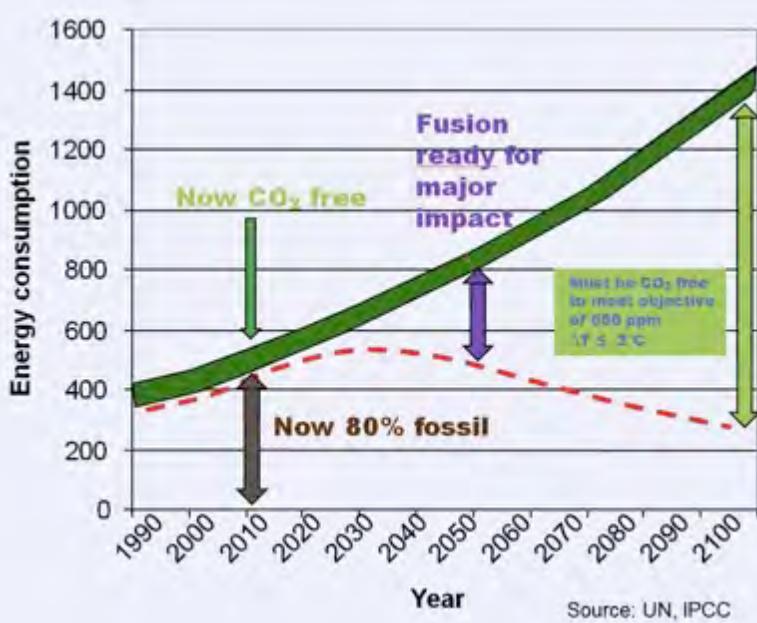


# Proyecto de fusión ITER y sus oportunidades industriales

Carlos Alejaldre  
Deputy Director-General ITER Organization



# El Desafío Energético



**Tenemos que producir energía libre de CO<sub>2</sub> de forma masiva!**

Consumo energético mundial ha crecido un 50% desde 1973. IEA predice que crecerá otro 60% para 2030. *(International Energy Agency - IEA)*

## Opciones para el futuro

- **Combustibles fósiles:** desarrollar en implementar la captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub>
- **Renovables:** logros en producción y almacenamiento
- **Fisión Nuclear** : aceptación social
- **Fusión:** debe demostrar la viabilidad científica y tecnológica

# ITER

# Desafío global, respuesta global

La idea de construir ITER nace en la cumbre de Ginebra de 1985, cuando el presidente de USA Reagan y el Secretario soviético Gorbatchev proponen mobilizar la comunidad internacional para desarrollar la energía de fusión ...  
... *“con el fin de poner a disposición de toda la humanidad una fuente de energía inagotable”*.



**El 28 Junio 2005, los miembros de ITER unanimamente acuerdan construir ITER en Cadarache**

**El 21 Noviembre 2006, el acuerdo ITER se firma en el Palacio del Elíseo en Paris.**

**Los siete Miembros de ITER representan mas del 50% de la población mundial y alrededor del 80% del PNB**

China EU India Japon Corea Rusia USA

# Porqué ITER?

Un gramo de la fusión D-T  
(combustible de ITER) equivale  
energéticamente a 8 toneladas de  
petróleo.

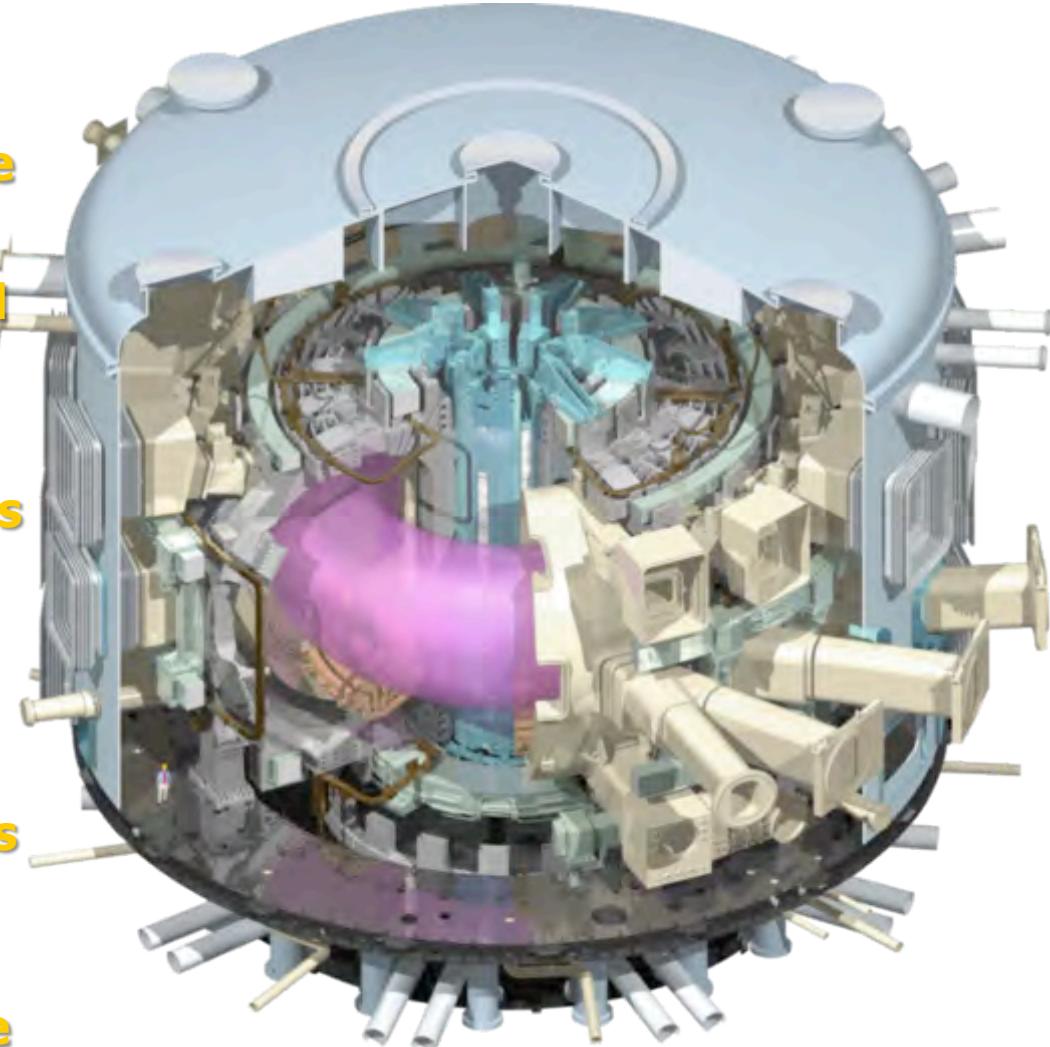
ITER es el paso necesario hacia el  
futuro reactor comercial de  
 fusión.

En ITER se generará 10 veces más  
potencia de la utilizada para  
sostener el proceso:

Input 50 MW – Output 500 MW

ITER demostrará la seguridad,  
disponibilidad e integración de las  
tecnologías esenciales para los  
reactores de fusión.

10 años construcción, 20 años de  
operación, 5 de desactivación.

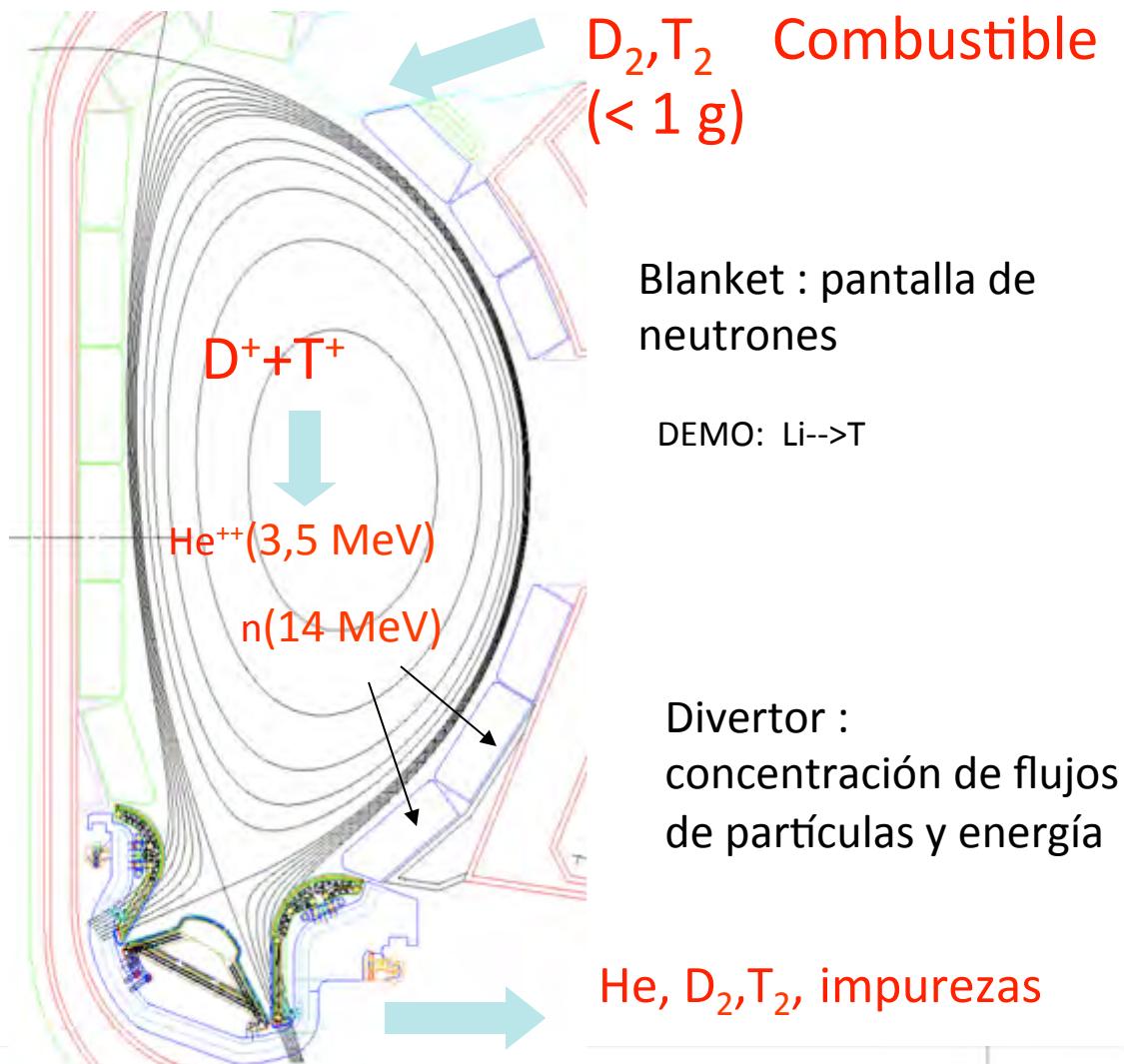


**Construyendo un Sol en nuestro Planeta...**

# La fusión en el plasma de un Tokamak

Plasma en forma de “judía”

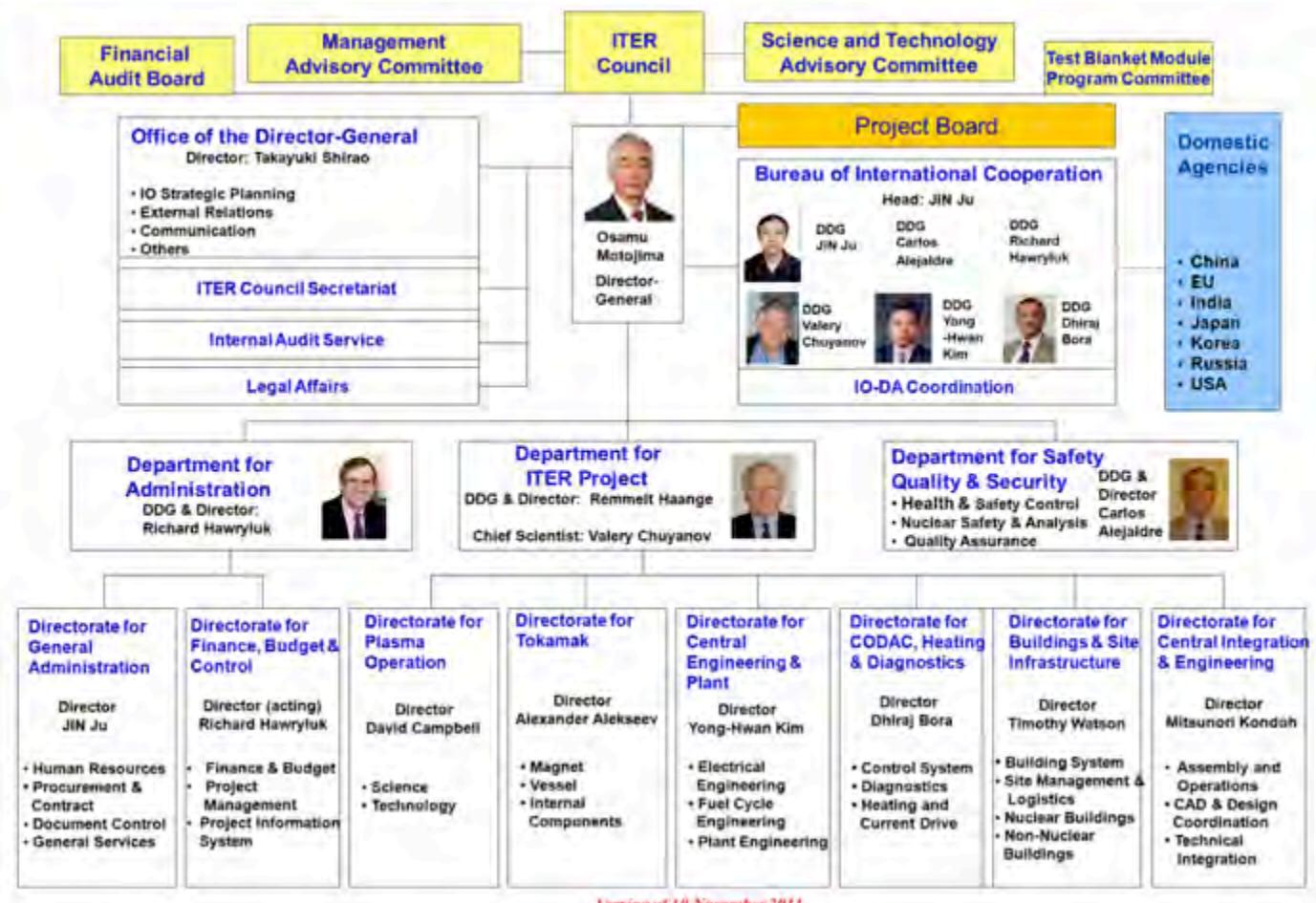
V :	830 m <sup>3</sup>
R/a :	6,2 m/2 m
Elongación vertical :	1,85
Triangularidad :	0,45
Densidad :	10 <sup>20</sup> m <sup>-3</sup>
Temperatura pico :	17 keV
Potencia de fusión :	500 MW
Corriente de plasma :	15 MA
Campo toroidal :	5,3 T



# Organización

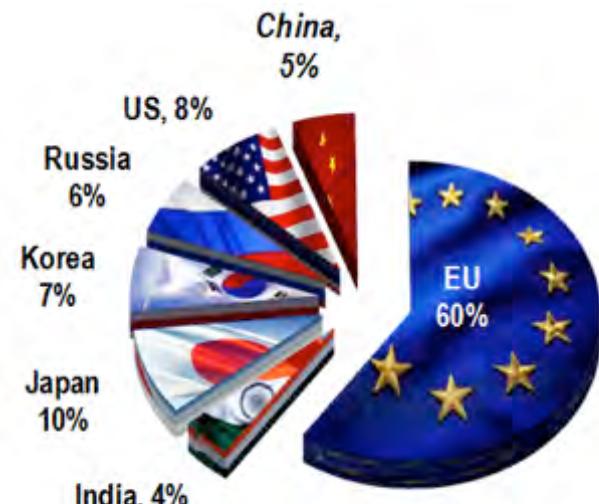
- **Liderazgo sólido**
- **Una estructura orgánica simplificada, tipo task-force**
- **Ambiciosa con staff elegido competitivamente**

**Para un proceso de decisión rápido y su correcta implementación**



Version of 10 November 2011

# Personal



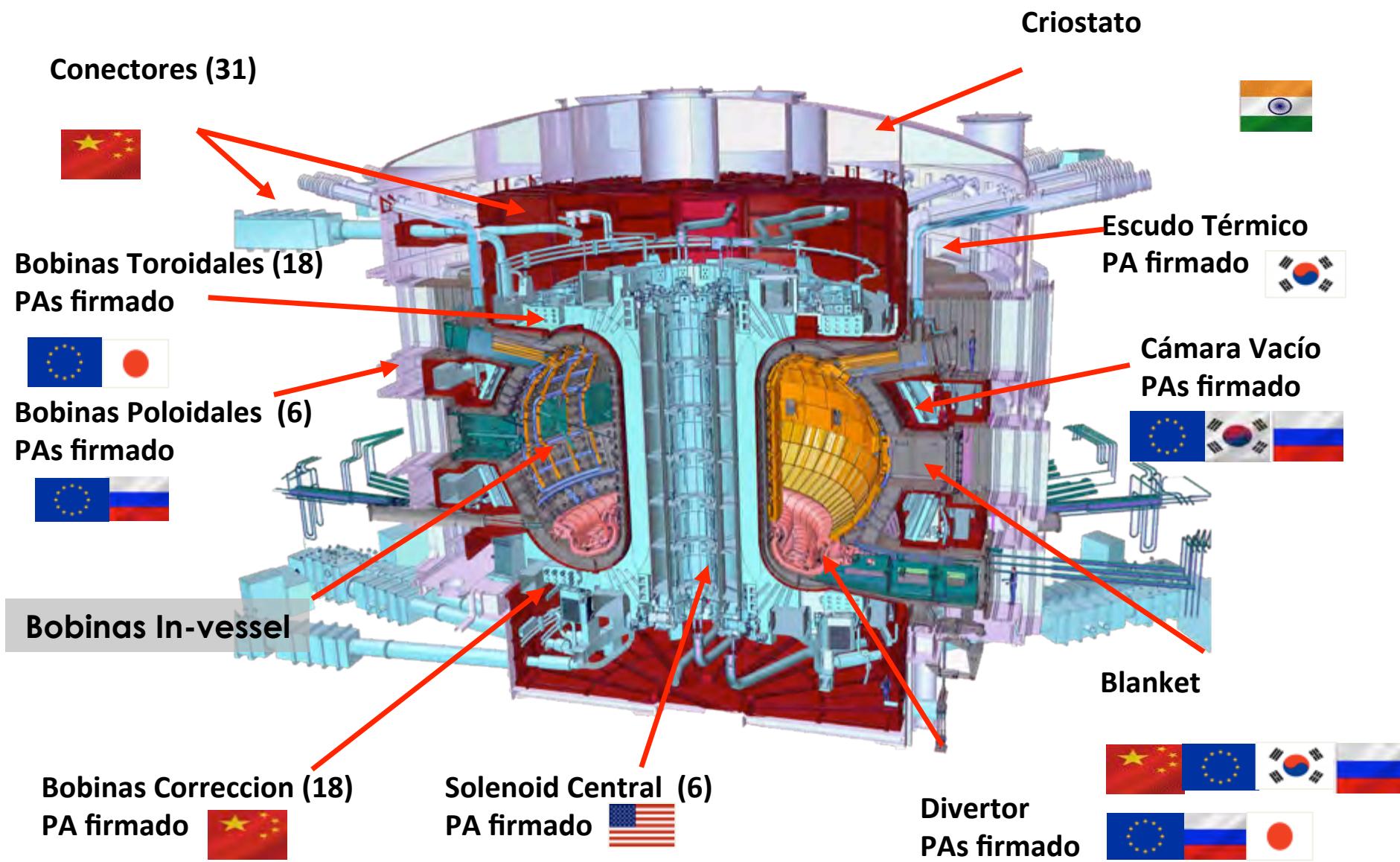
P Staff Distribution by Members



**26 Nationalidades Diferentes**

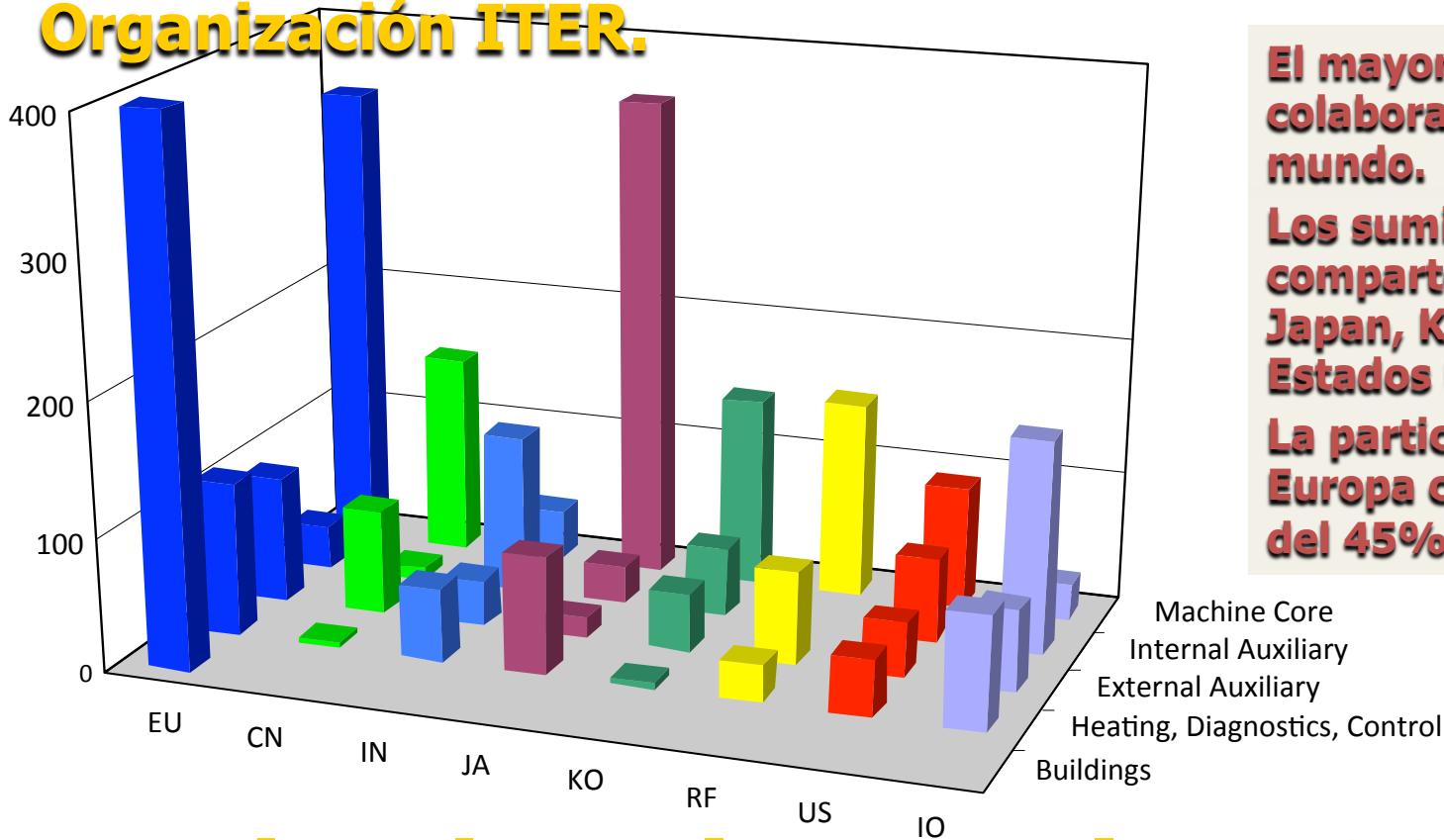
	Profesional	Staff apoyo	Total
CN	16	4	20
EU	179	125	304
IN	13	16	29
JA	28	7	35
KO	21	5	26
RU	19	3	22
US	23	11	34
<b>Total</b>	<b>299</b>	<b>171</b>	<b>470</b>

# ¿Quién construye qué?



# Una formula única

**ITER está siendo construído a través de contribuciones “en especie” suministradas por los siete Miembros de la Organización ITER.**



**El mayor Proyecto de colaboración científica del mundo.**

**Los suministros los comparten China, India, Japan, Korea, Russia y los Estados Unidos (9%).**

**La participación de Europa como anfitrión es del 45%**

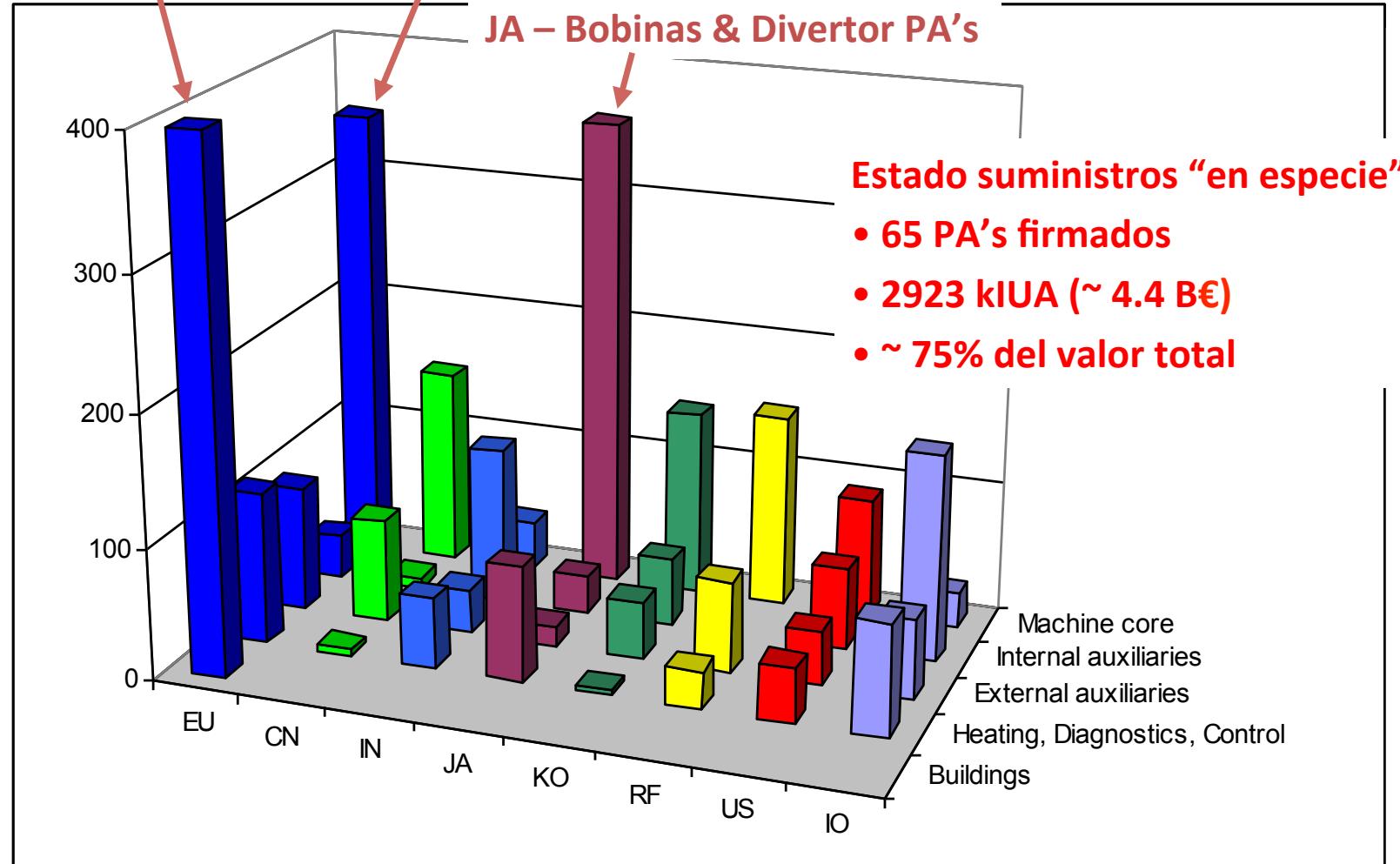
## Techo de valor total 4,700 kIUA

# Contribuciones “en Especie”

EU – Edificios & Excavaciones PA's

EU – VV & Bobinas & Divertor PA's

JA – Bobinas & Divertor PA's

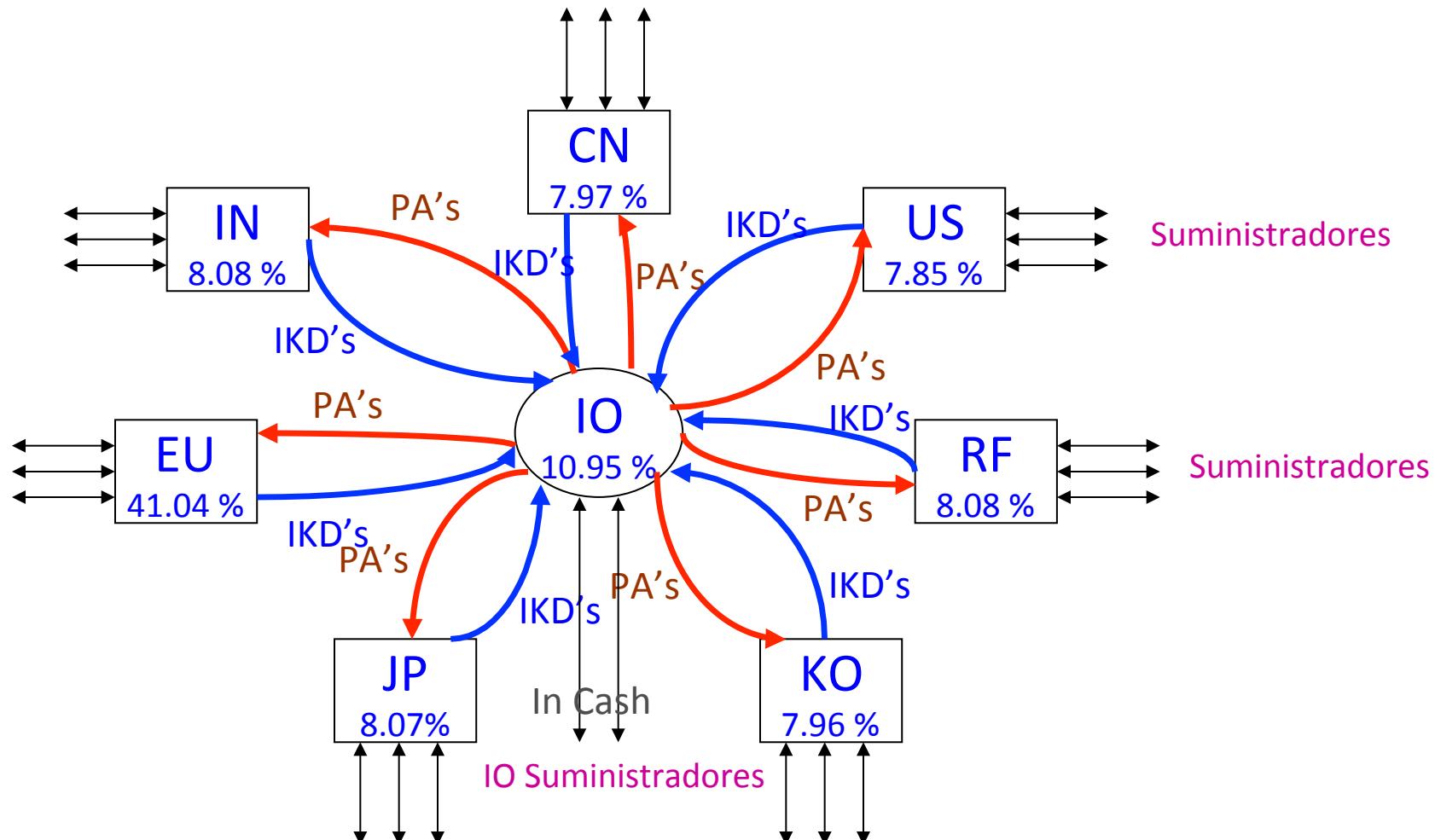


# El Proyecto ITER – Agencias Suministradoras



- **90% de los componentes de ITER serán suministrados “en-especie” por los Miembros a través de sus Agencias Domésticas**

# Relación IO-DA's-Suministradores



PA: Procurement Arrangements

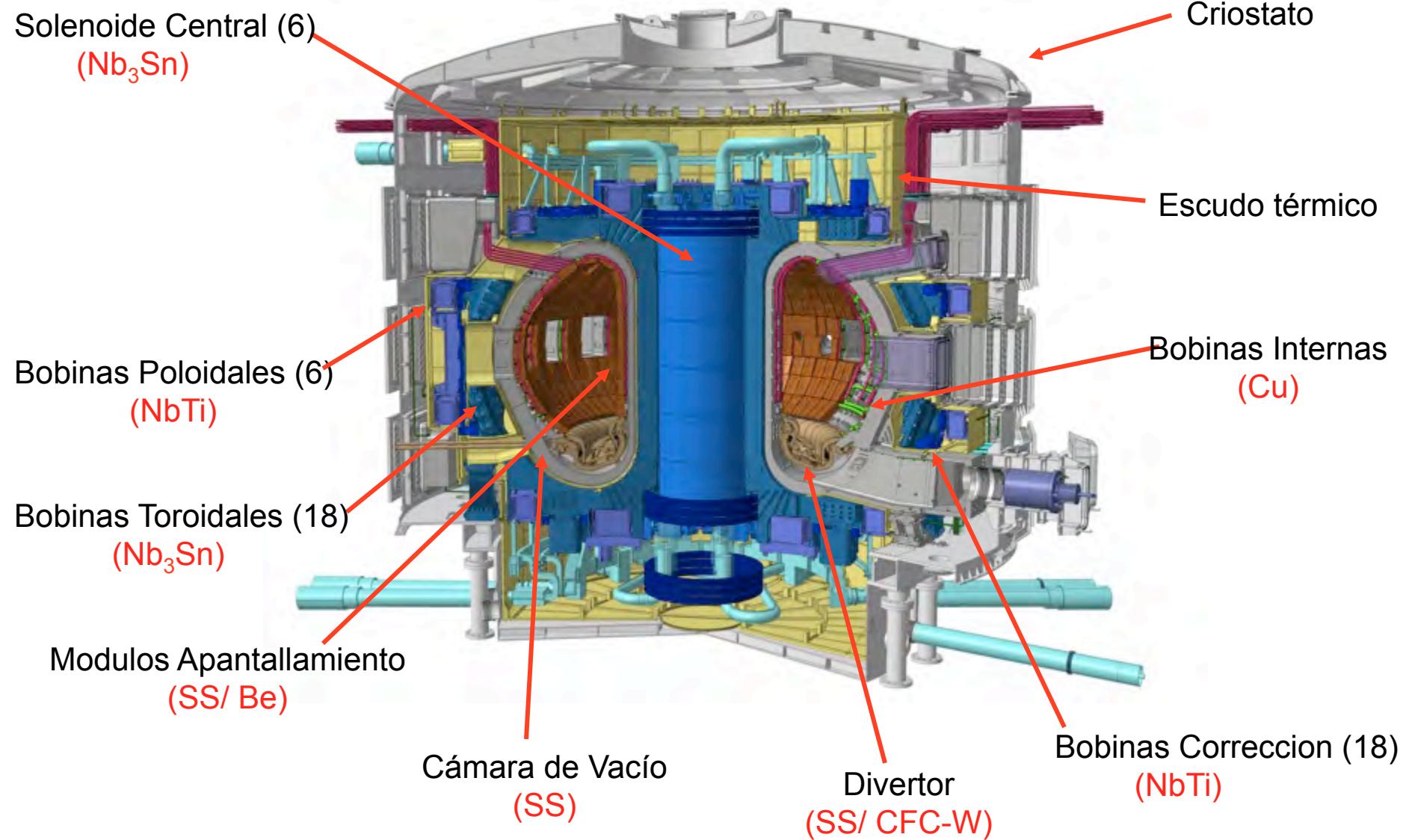
IKD: In Kind Deliveries

# Relación IO-DA's-Suministradores

- ITER se ajusta estrictamente a reglas de Mercado Publico
- Posibilidad de trabajar para ITER solamente a través de licitación
- La mayor parte de los suministros Europeos se canalizan a través de F4E en Barcelona.
- Diferentes clases de Contratos:
  - Ingenieria de apoyo, servicios
  - R & D
  - Suministros
- Para la Industria Europea, el partenariado entre compañías está resultando productivo.
- Para los contratos de IO competitivos mundialmente, ITER puede ser una oportunidad para construir partenariados internacionales.

# COMPONENTES ITER

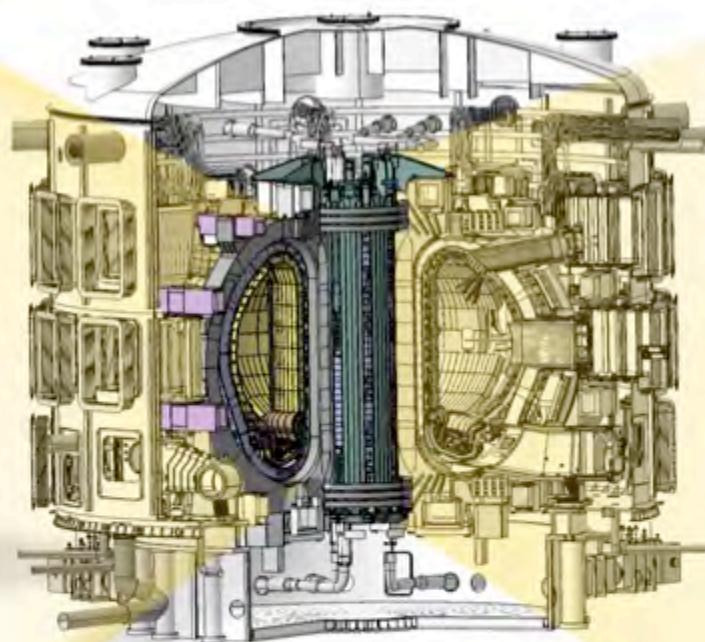
# ITER - Componentes Principales



# Bobinas – Tamaño y Performance sin precedente



**TF Coils**  
**11.8 Tesla, 41 GJ**  
**400 MN fuerza central**

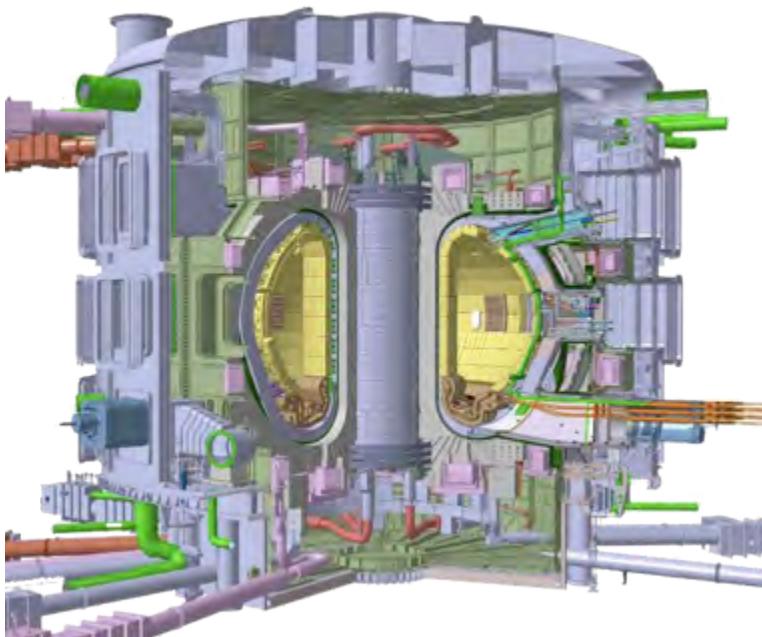


**Solenoid Central**  
**13 Tesla, 7 GJ**  
**20 kV, 1.2 T/s**



# Impresionante!

**La energía almacenada en el sistema magnético de ITER es equivalente a la del porta-aviones Charles-de-Gaulle a una velocidad de ... 180 km/h**

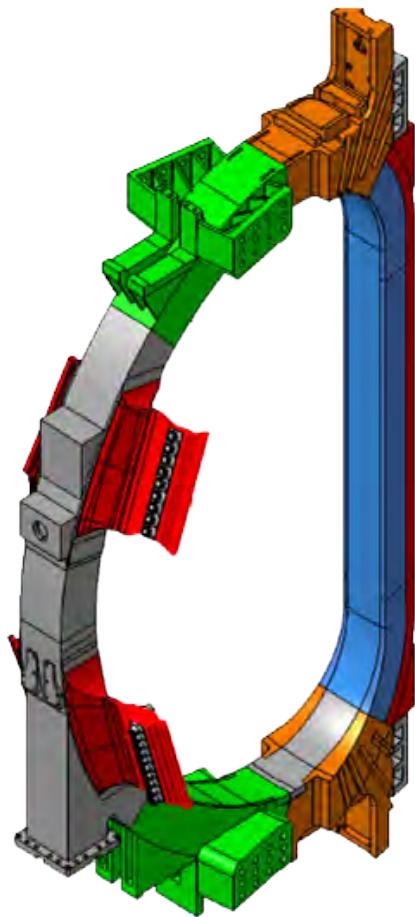


Peso del tokamak ITER:  
~23 000 t



Porta-aviones Charles-de-Gaulle

# Otra equivalencia...



Cada una de las 18 bobinas Toroidales es tan pesada como un Boeing 747 a plena carga.

# Fabricación ha comenzado

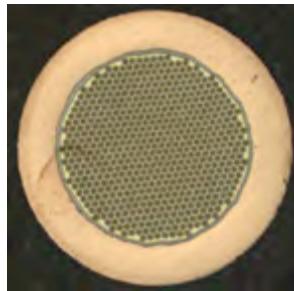
**La fabricación de prototipos y componentes se está desarrollando**



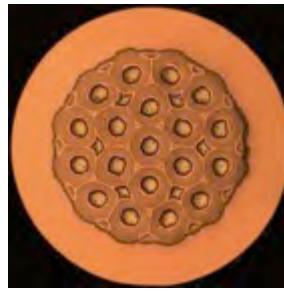
**Hoisting superconducting Correction Coils, Institute of Plasma Physics, Hefei, China.**

# Fabricación ha comenzado

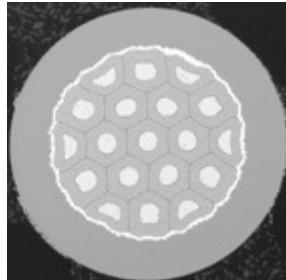
- JA, KO, RF, EU, US, & CN han obtenido las cualificaciones para producir los cables superconductores.



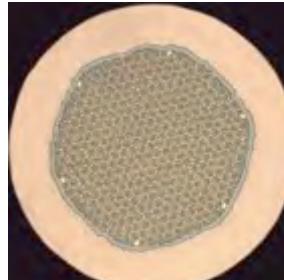
Hitachi, JA  
(Br)



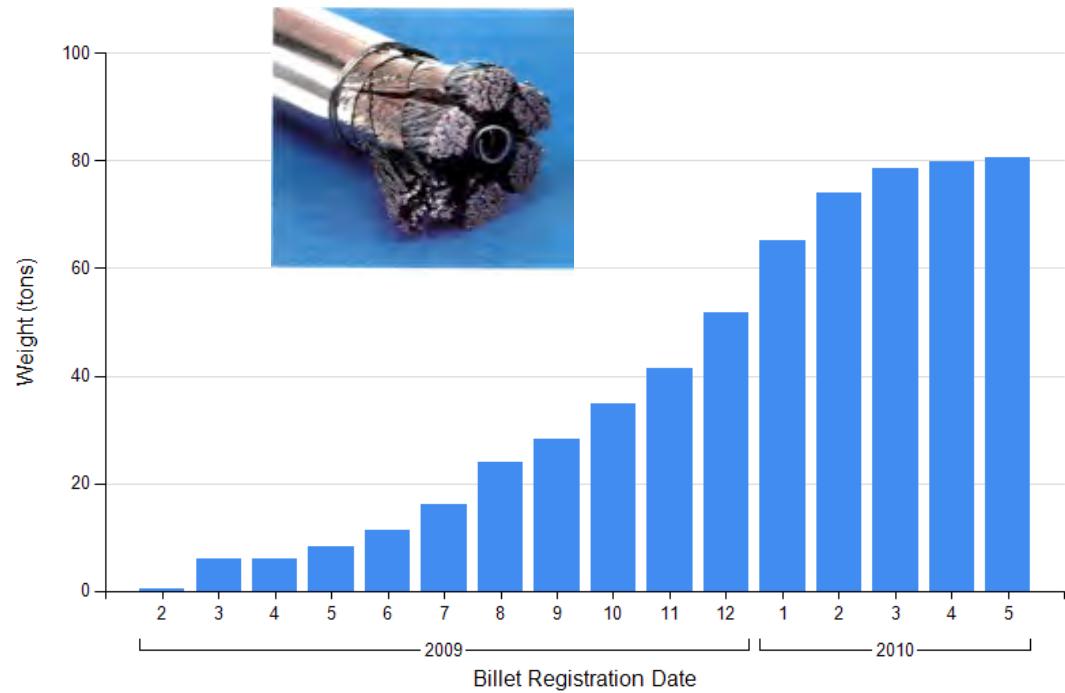
KAT, KO  
(IT)



OST, EU/US  
(IT)



ChMP, RF  
(Br)



En este momento ~ 80 tons (mas de 15 000 km) de cable superconductor ha sido registrado en la Base de Datos, lo que corresponde a 4 bobinas toroidales.

# Progreso en Bobinas TF - Japon



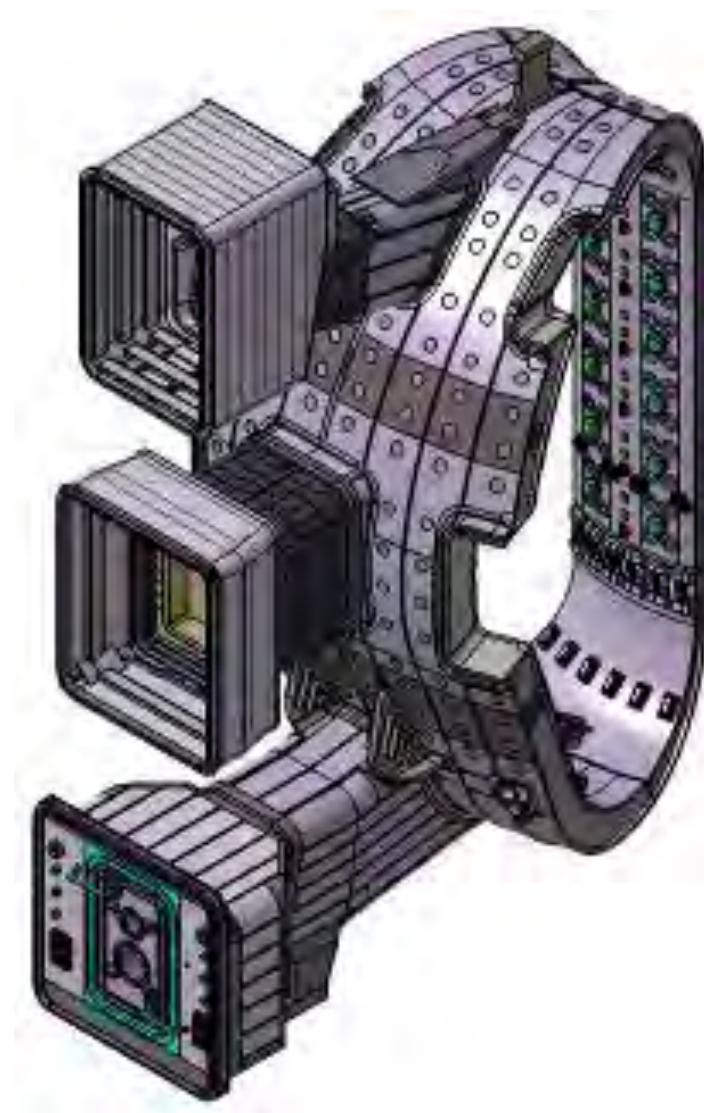
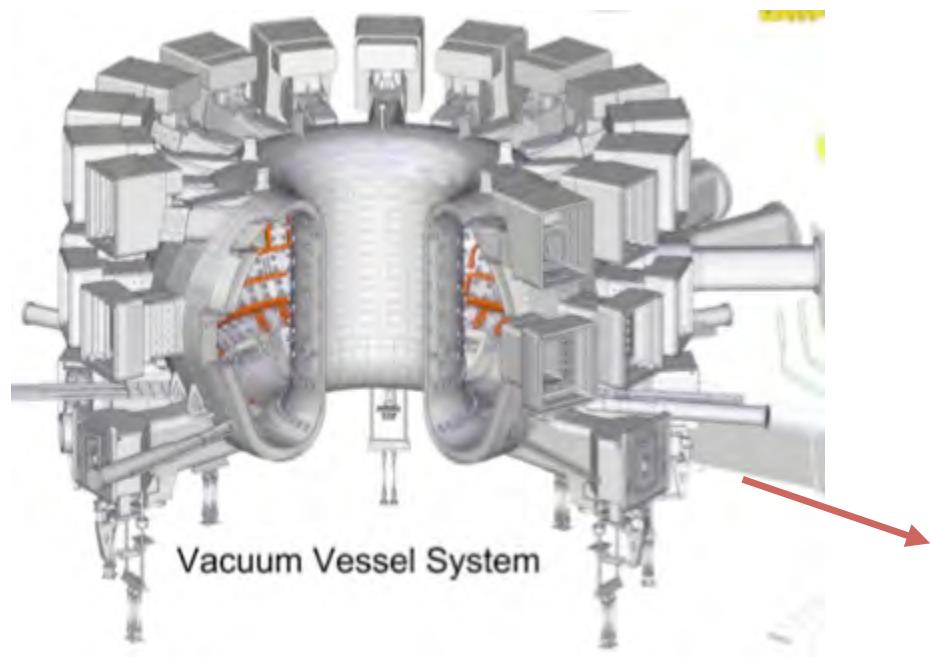
Completed one third scale 3-turn winding trials at Toshiba

Winding Support Jig



Winding & Bending Rollers

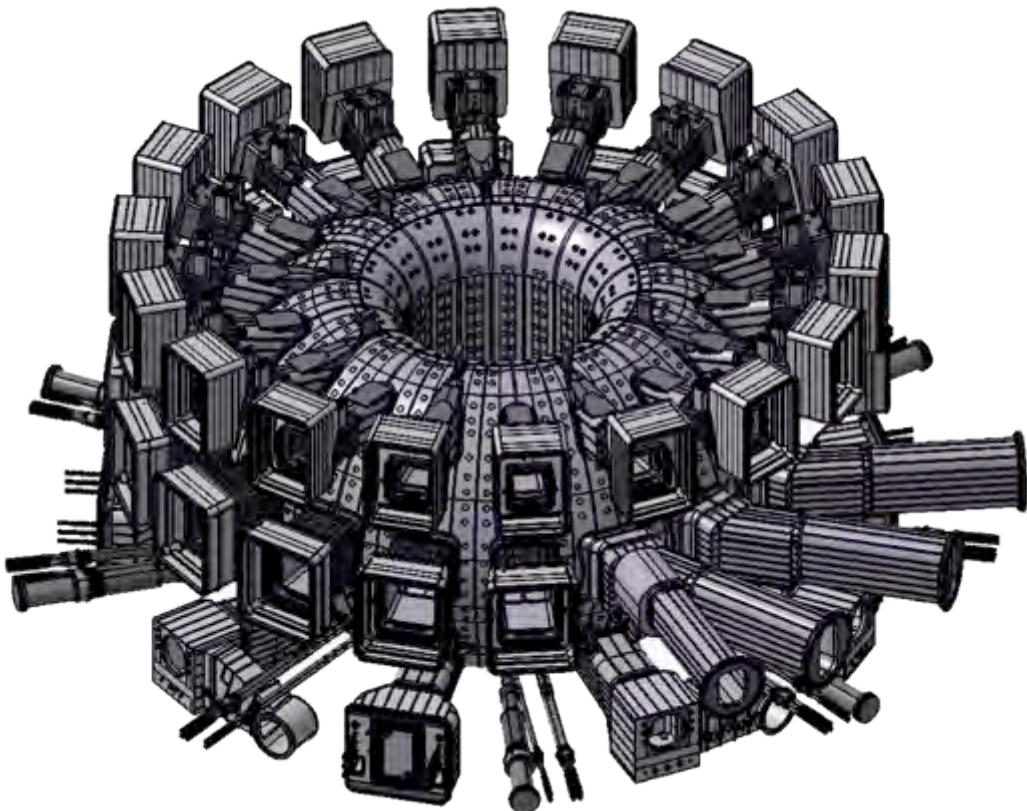
# Cámara de Vacío



## Facts

- Primera barrera de confinamiento para ITER
- SS 316 LN-IG
- ~5300 tons (VV, ports, shielding only)
- 19.4 m (63 ft) torus outer diameter
- 11.3 m (37 ft) torus height
- 9 Sectors assembled in triplets

# Dimension...



Peso de la cámara de vacío y sus componentes internos: ~ 8 000 tonnes

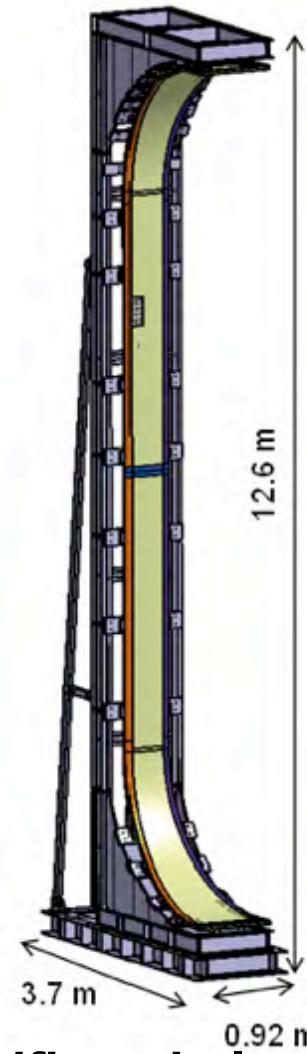


Peso de la Tour Eiffel : ~7 300 t.

## Large Scale Mock-Ups of Vacuum Vessel and Thermal Shield



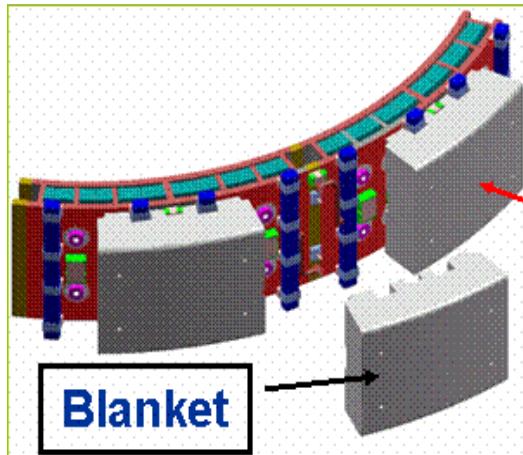
Inboard segment of a VV sector



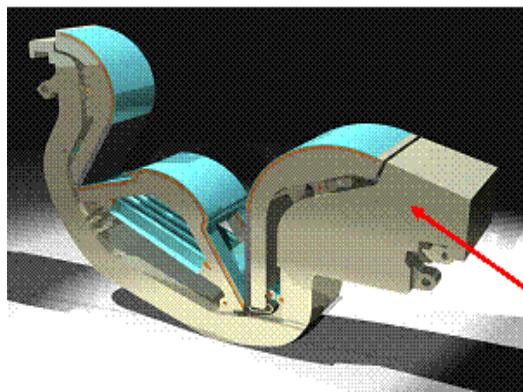
- **Agencia Domestica Coreana está verificando los métodos de fabricación.**

Photos: KO DA

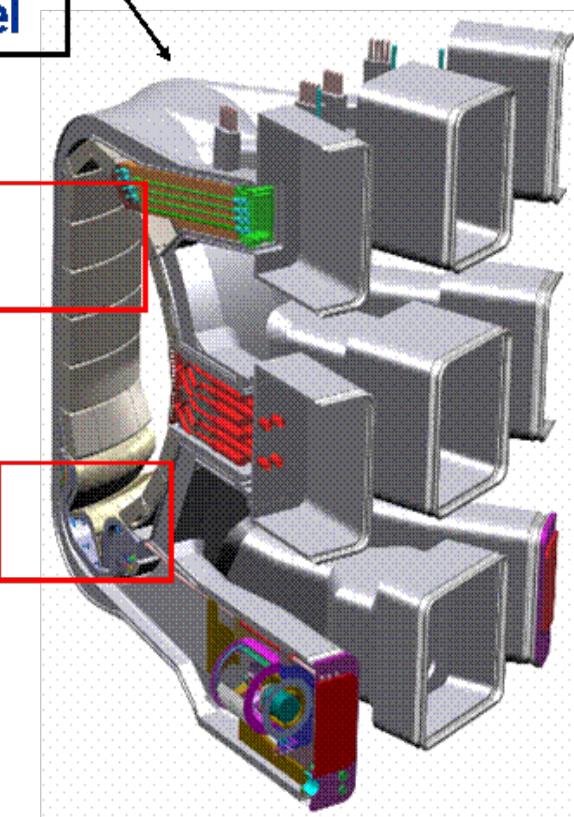
# Componentes Interiores-Cámara Vacío



Vacuum  
Vessel



Divertor



- Principales componentes:
  - Divertor: extracción de flujos de partículas y calor
  - Blanket / Primera Pared: apantallamiento calor, impureza y neutrones

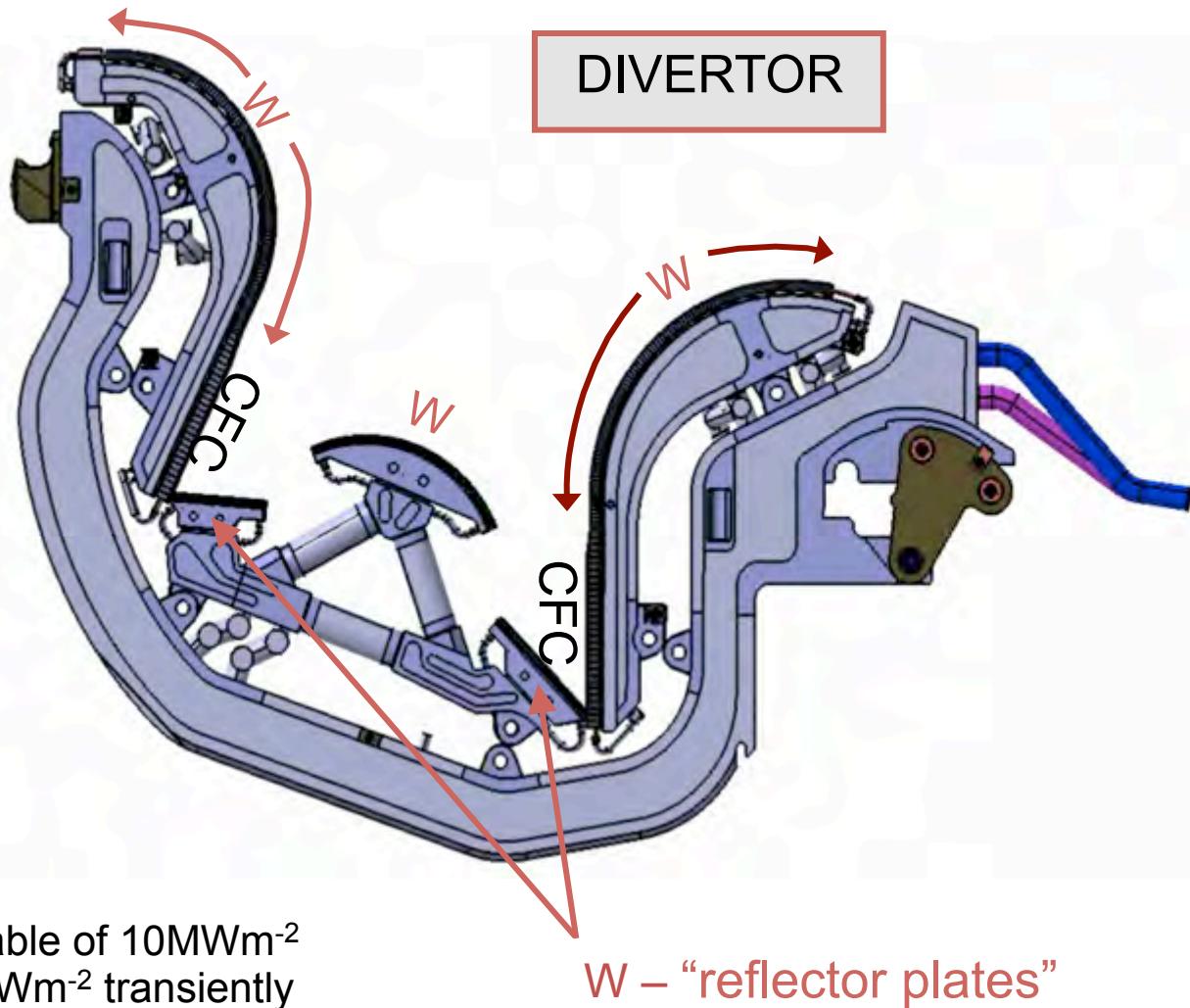
# Divertor

In the current ITER baseline:

CFC at the strike points, W on the baffles through the H and D phases

All-W from the start of DT operations

DIVERTOR

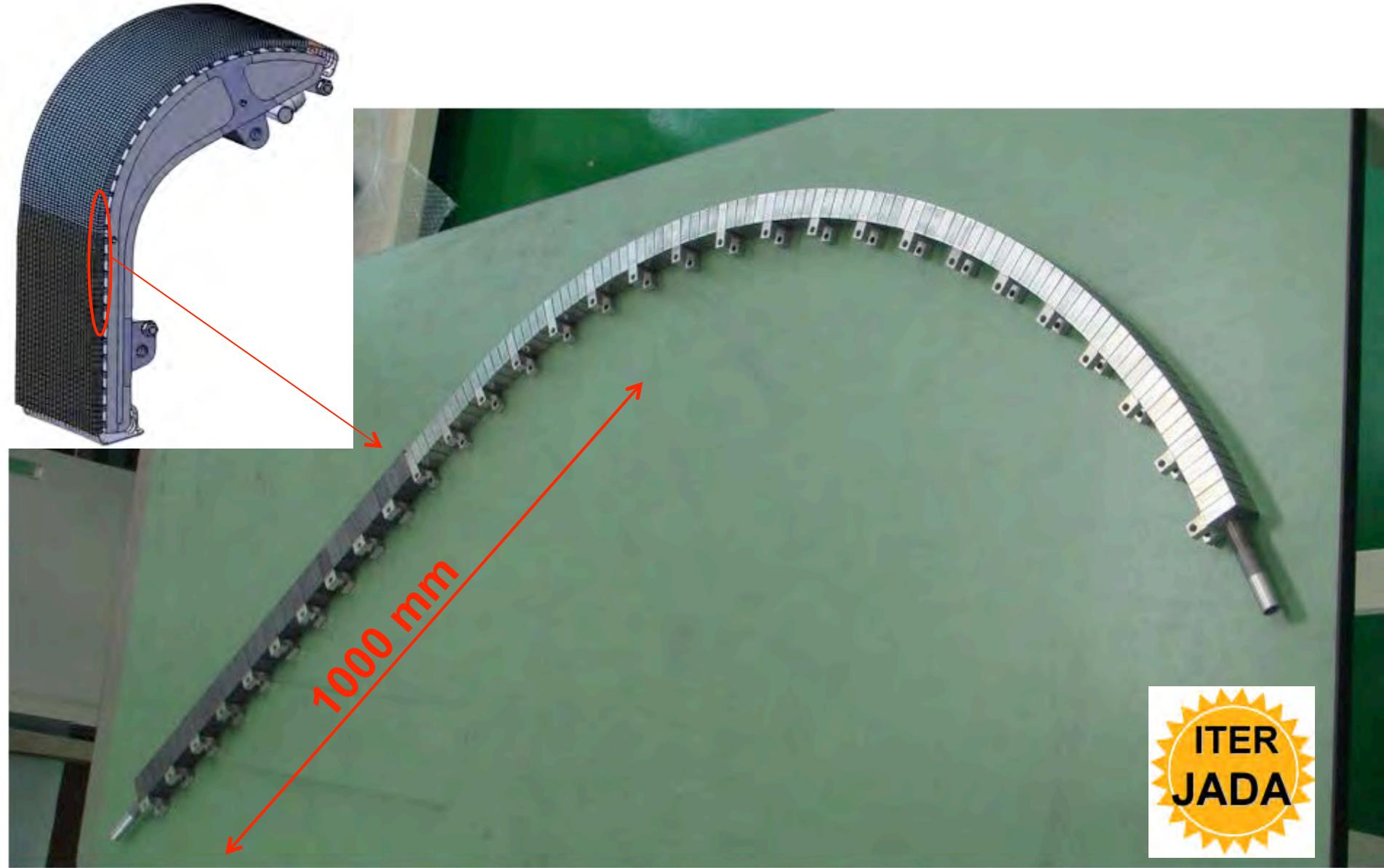


## Divertor:

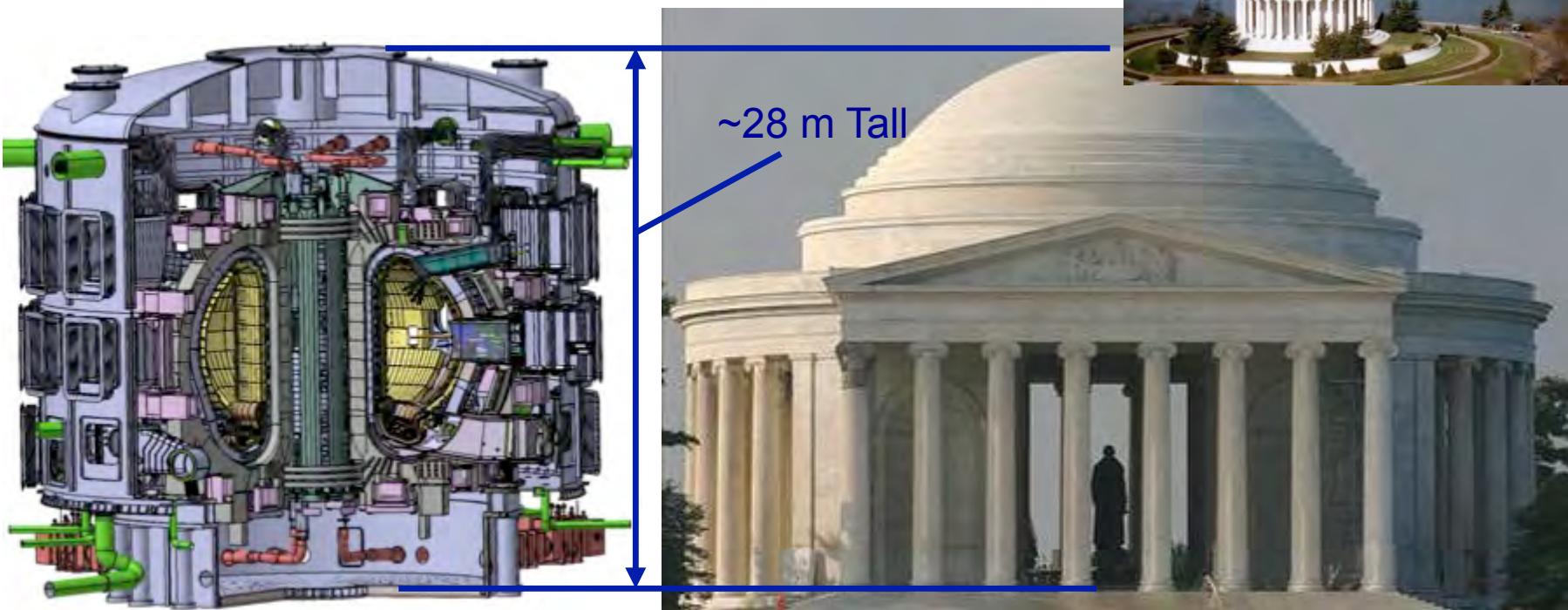
- 54 Divertor cassettes
- High heat flux components capable of  $10\text{MWm}^{-2}$  in stationary operation and  $20\text{MWm}^{-2}$  transiently

W – “reflector plates”

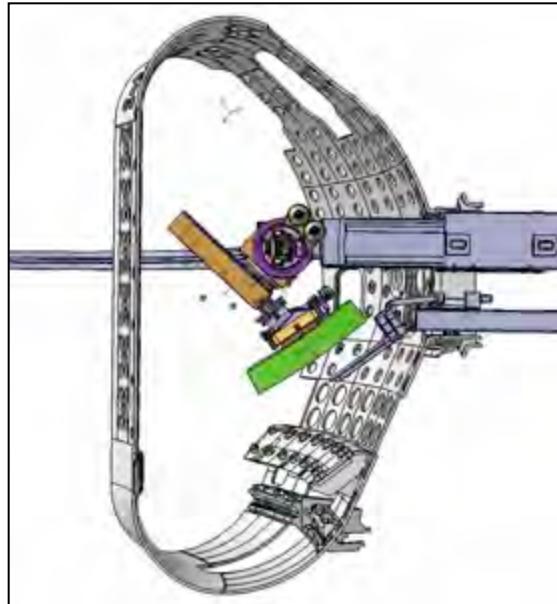
# First Plasma-Facing Unit Manufactured by JA DA



# Criostato



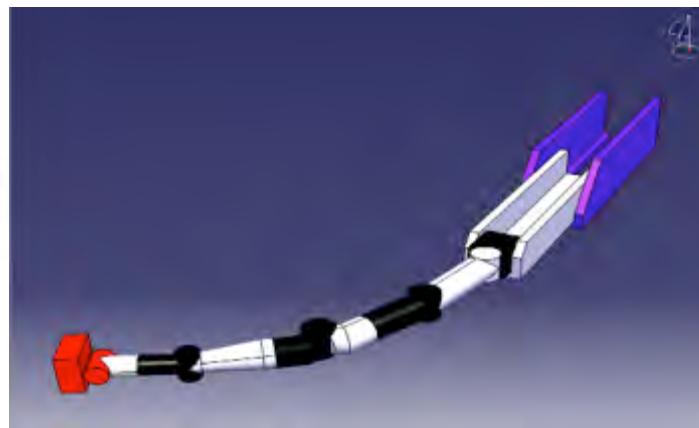
# Sistemas de Operación Remota



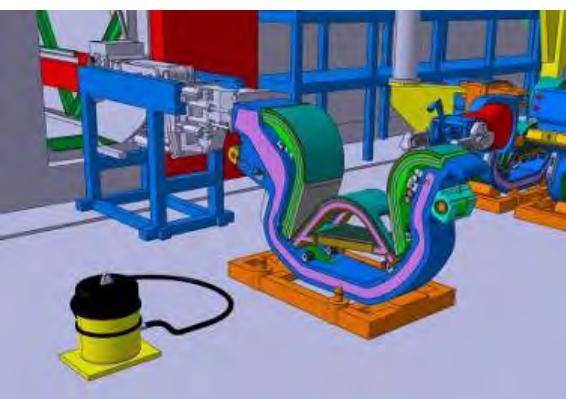
Blanket RH System (JA)



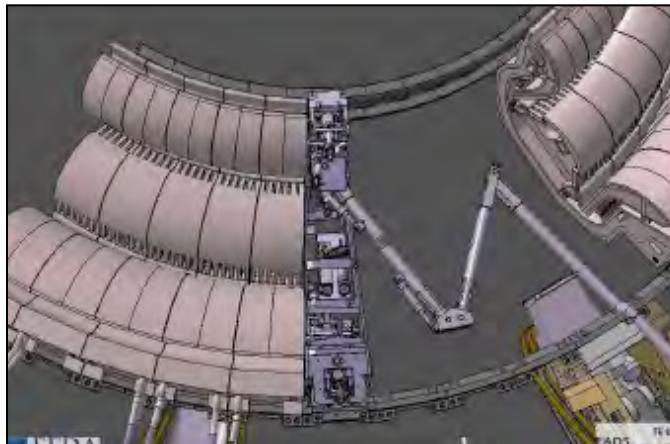
Transfer Cask Systems (EU+CN)



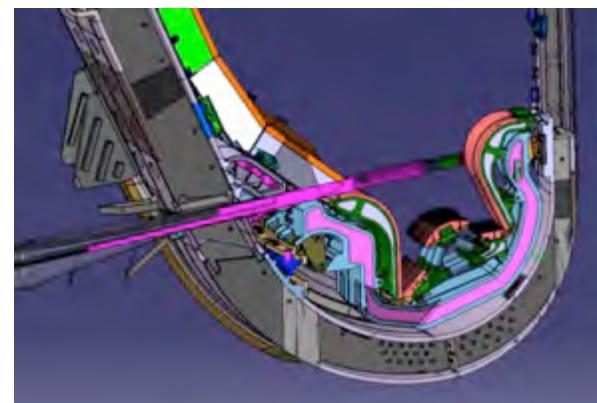
Multi Purpose Deployer



Hot Cell RH Equipment

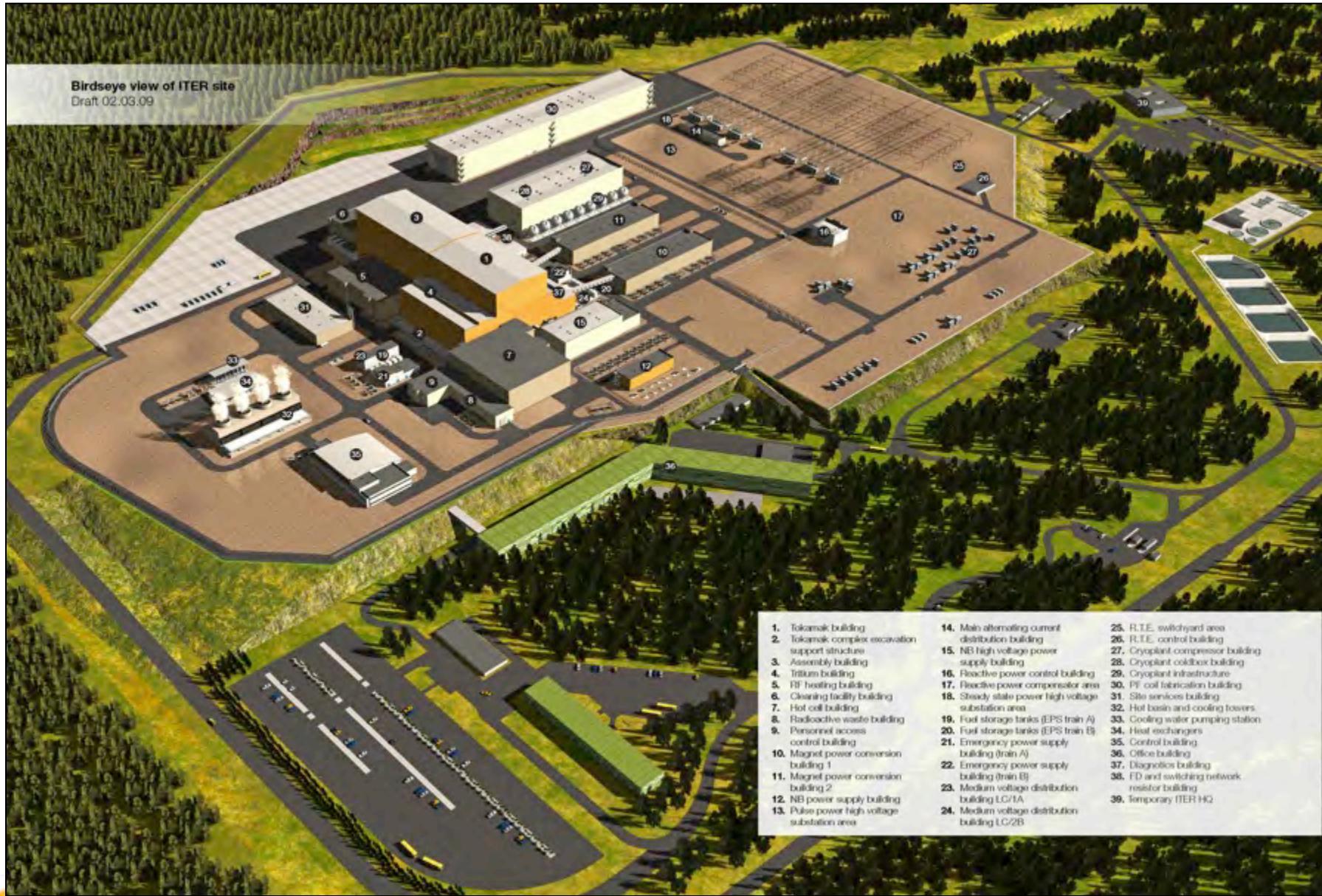


Cassette Toroidal Mover

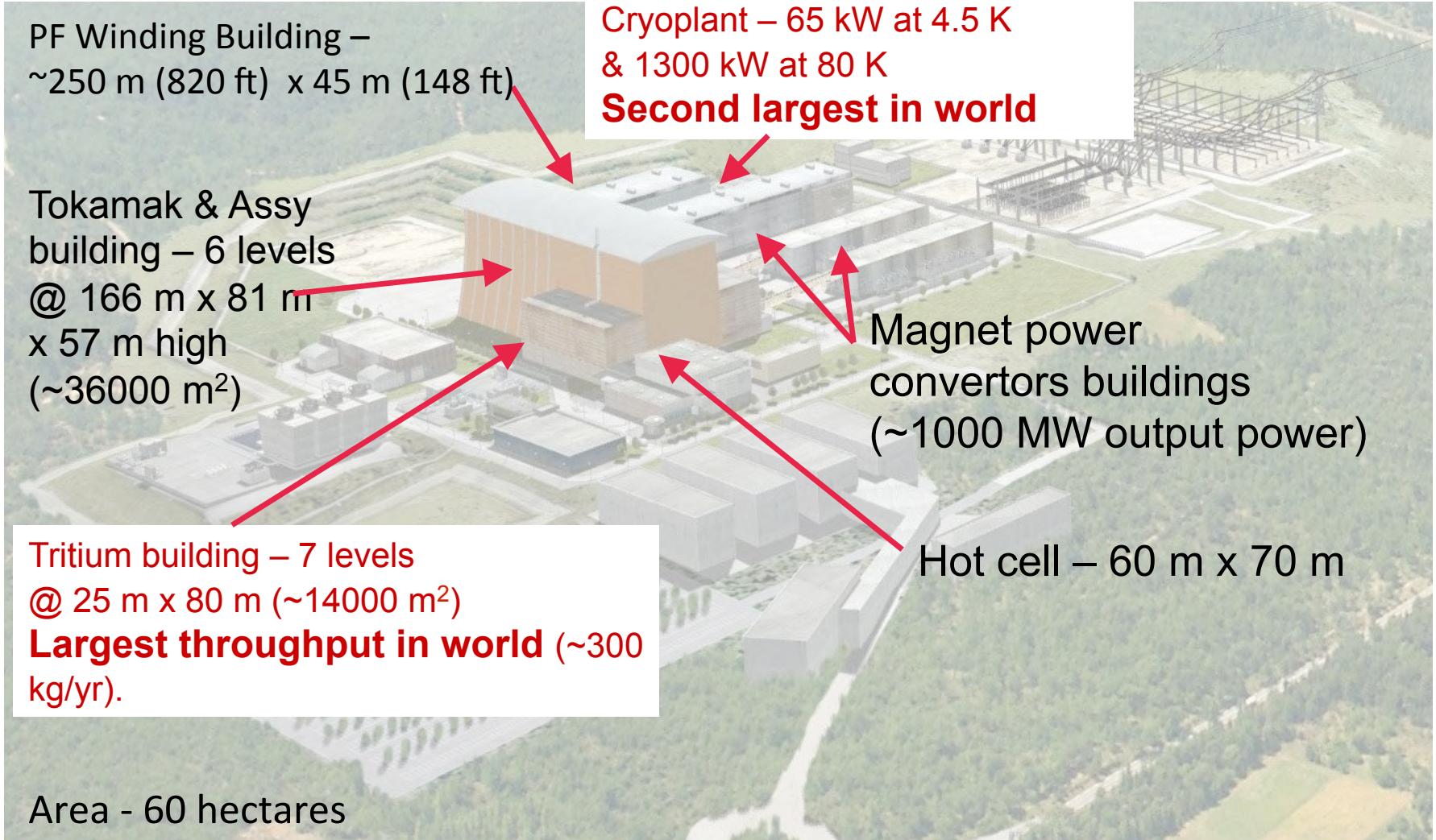


In-Vessel Viewing System

# ITER Project Site Layout: 3-D graphics view

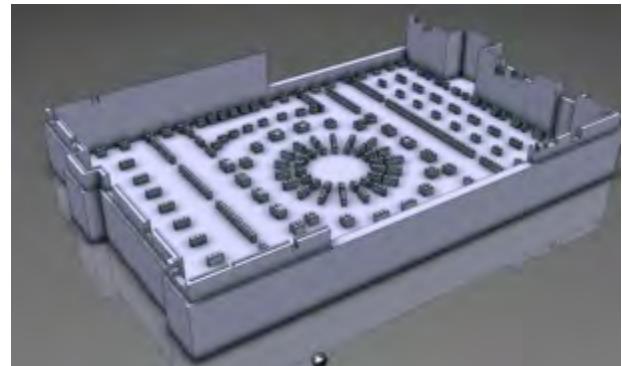
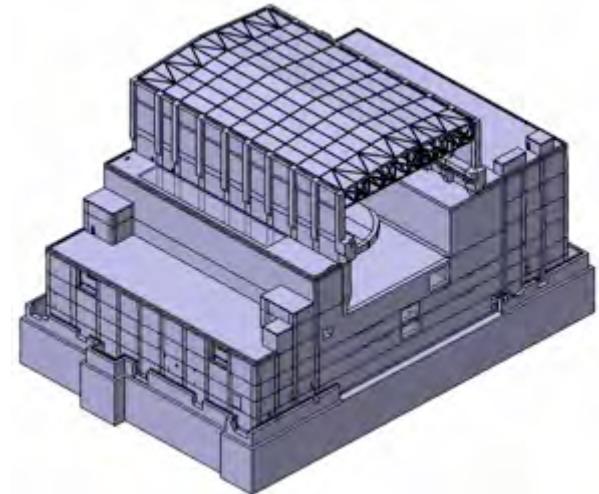


# Edificios ITER

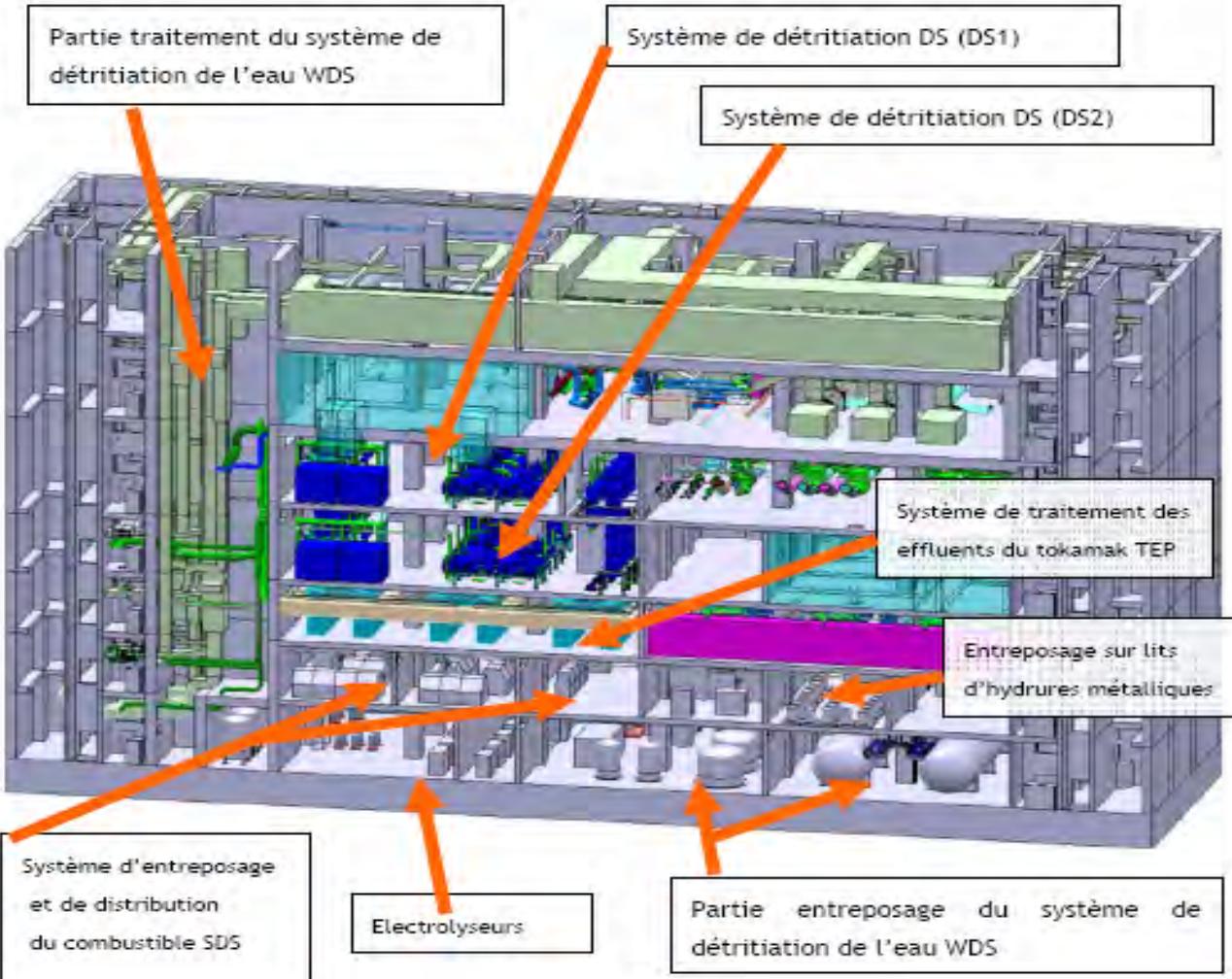


# Complejo Tokamak

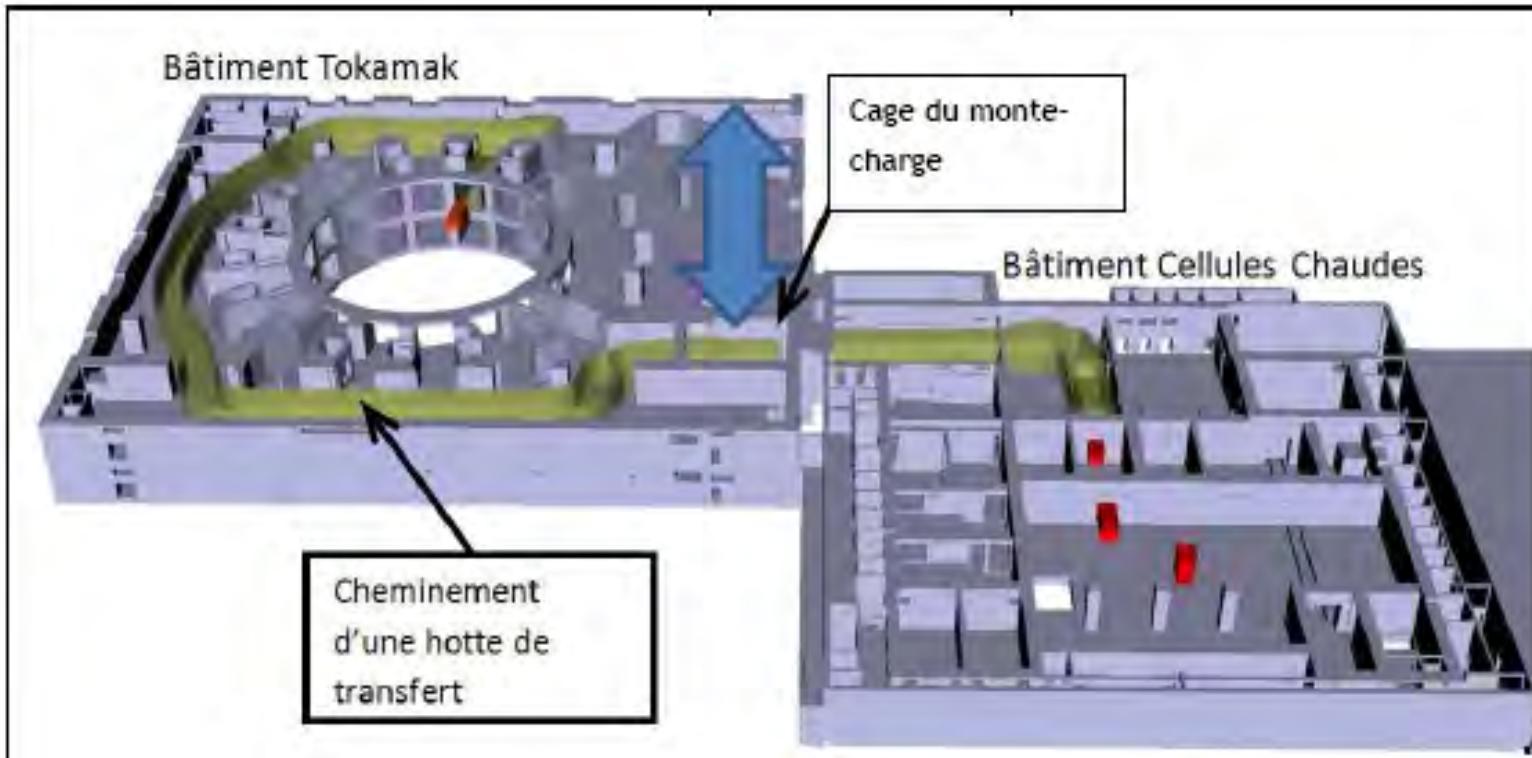
- Características Principales
  - El Complejo Tokamak comprende los edificios Tokamak, Tritium et Diagnostic.
  - Estos edificios forman una estructura monolítica.
  - Todos los edificios tienen una estructura en cemento armado.
  - Todo el Complejo reposa sobre patines parasismicos



# Edificio Tritio



# Edificio de Celdas Calientes



# Vista aérea



# Progreso en la Construction del Emplazamiento





# Progreso

**Edificio de  
bobinas PF está  
terminado.**



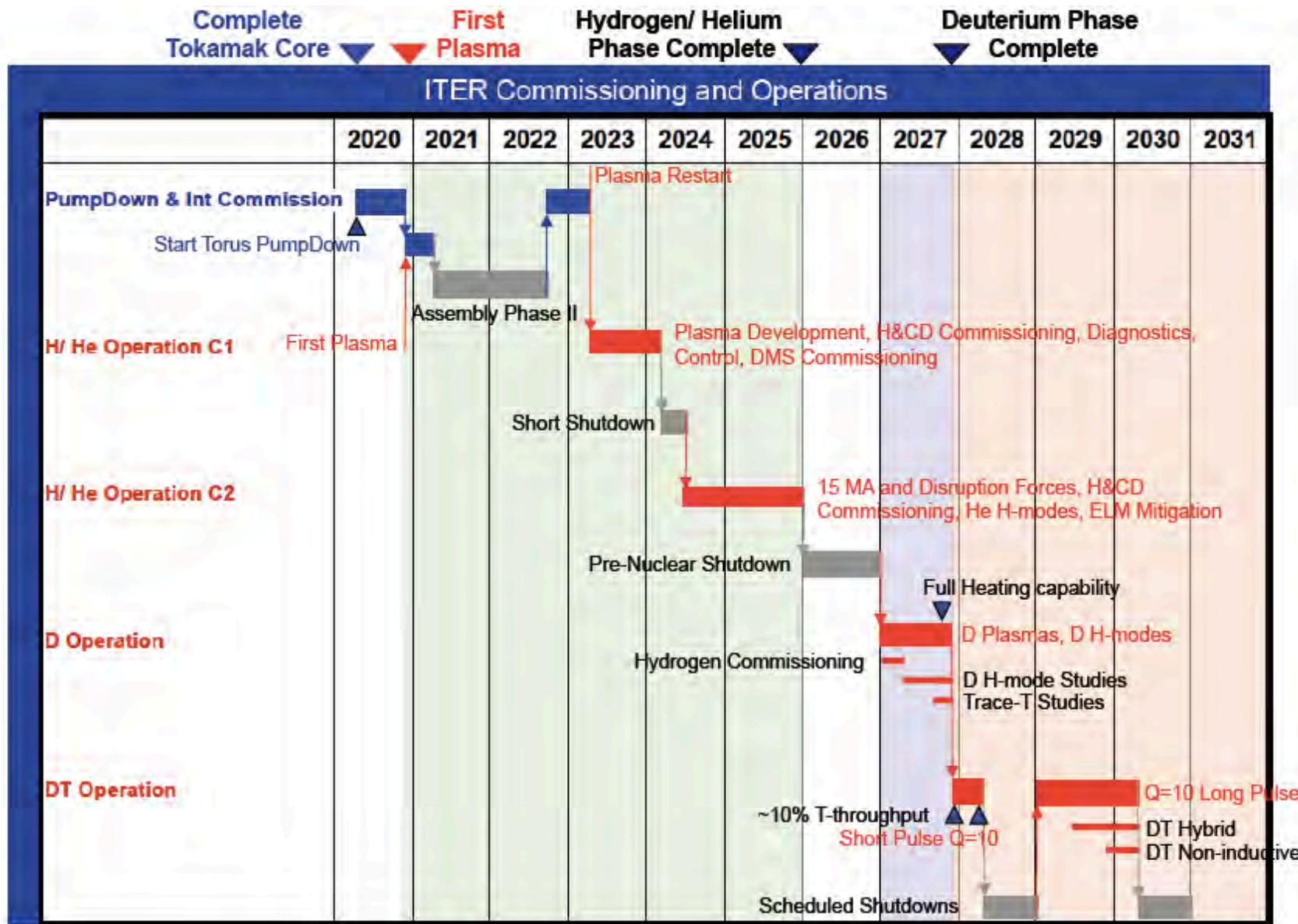
C. Alejandre, APD – Fundación Ramón Areces Madrid, 7 Febrero 2012

# Progreso en el Emplazamiento



**The last « plot » of the lower basemat was poured on 22 Dec 2011.**

# Calendario para Primer Plasma 2020



# Tecnologías clave en ITER y próximas licitaciones

# Algunas tecnologías clave

- Bobinas Superconductoras ( $Nb_3Sn$  and  $NbTi$ )
- Soldadura estructuras acero (TIG, NG-TIG, MIG, EB, Laser,...)
- Tecnologías Alto-Vacío
- Tecnologías alto flujo de calor
- Recubrimientos (coatings) aislantes
- Fuentes de Alimentación para Neutral Beam and Componentes de Alto Voltaje (del orden de 1 MV)
- Lineas de Transmision Alta Potencia, Alta Frecuencia y Fuentes (en los rangos 5-8 GHz y 120-180 GHz)
- Fuentes de Alimentación Electricas
- Herramientas de manipulación remota
- Criobombas de vacío
- Bombas mecánicas y Sistemas de refrigeración de agua
- Manejo de Tritio y Destritiación Atmosférica
- Valvulas Compatibles con Tritio
- Materiales para regeneración de tritio incluyendo cerámicas regeneradoras (breeder), guijarros (pebbles) de berillio y barreras a la permeación.
- Edificios e Infraestructura

# Próximas licitaciones (1)

- Development Equipments and Design activities for CODACS
- HCD – IC & EC: R&D and Design activities
- Many types of activities for Diagnostics Systems
- IT activities: Maintenance, SAP Assistance, general support and consultancy
- Tokamak: Materials & Welding qualification testings
- Tokamak: Heat Flux testing
- Component mechanical testing
- Welding performance under irradiation
- Mechanical test – Magnet support
- In Vessel Coils interface trial
- Thermo-Mechanical tests on Blanket
- Quench Detection Instrumentation Studies
- Blanket & Divertor R. H. activities
- Hot Cell remote Handling Technology

# Próximas licitaciones (2)

- Remote Handling R&D
- Remote Handling Procedures Validation
- Framework Contract on Access Control, Security Design and Procurement Support
- Framework Contract on Human factors
- Software System for Support of Assembly & Installation work Package Engineering & Planning
- Cryogenic Plant (Liquid Helium, 65 kW)
- Final Design of Detritiation System
- Cable Engineering
- Tritium Plant (elements of)
- Support to the owner for Electrical Engineer
- Leak localization: Water or Helium leaks in Cryostat or in Torus
- HTWP Design
- Proof of Design for DS Scrubber columns to replace molecular sieves

# Próximas licitaciones (3)

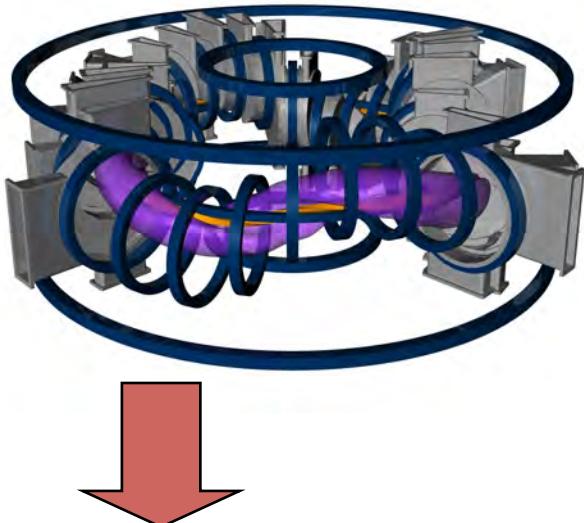
- Development Equipments and Design activities for CODACS
- HCD – IC & EC: R&D and Design activities
- Welding for Tokamak parts
- Component mechanical testing
- Thermo-Mechanical tests on Blanket
- Quench Detection Instrumentation Studies
- Blanket & Divertor R. H. activities
- Hot Cell remote Handling Technology
- CAD activities
- Cooling water System: installation
- Lifting and Handling
- Remote Handling R&D
- Remote Handling Procedures Validation
- Final Design of Detritiation System
- Cable Engineering
- Tritium Plant (elements of)

# El programa Español CIEMAT: TJ-II

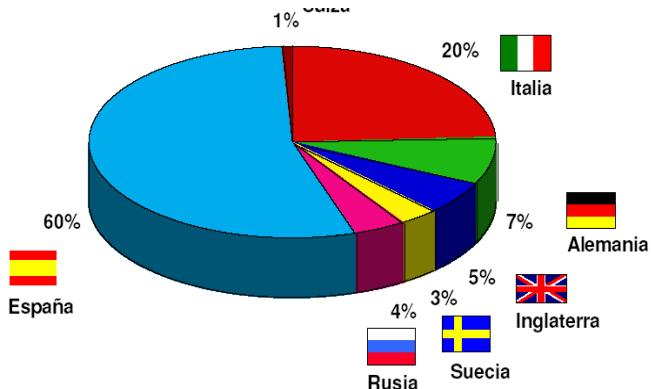


C. Alejaldre, APD – Fundación Ramón Areces Madrid, 7 Febrero 2012

# Motor industrial



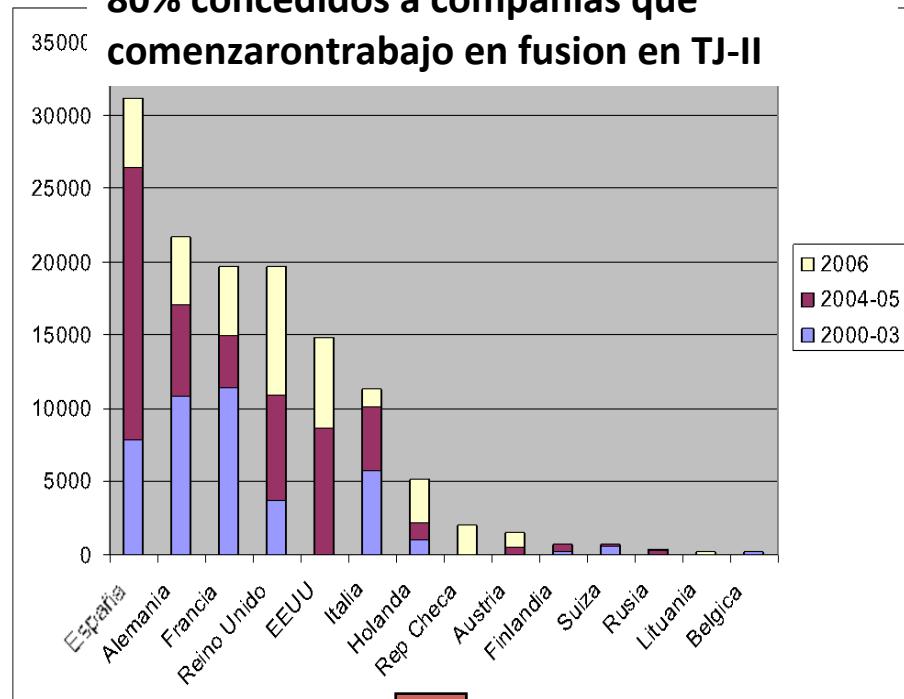
Contratos en la construcción de TJ-II por país



EU contributes 45% of construction costs and 20% of operation & exploitation costs

Contratos Industriales ( x1000 €)  
conseguidos en EU competición (Art 7): JET & ITER.

80% concedidos a compañías que comenzaron trabajo en fusión en TJ-II



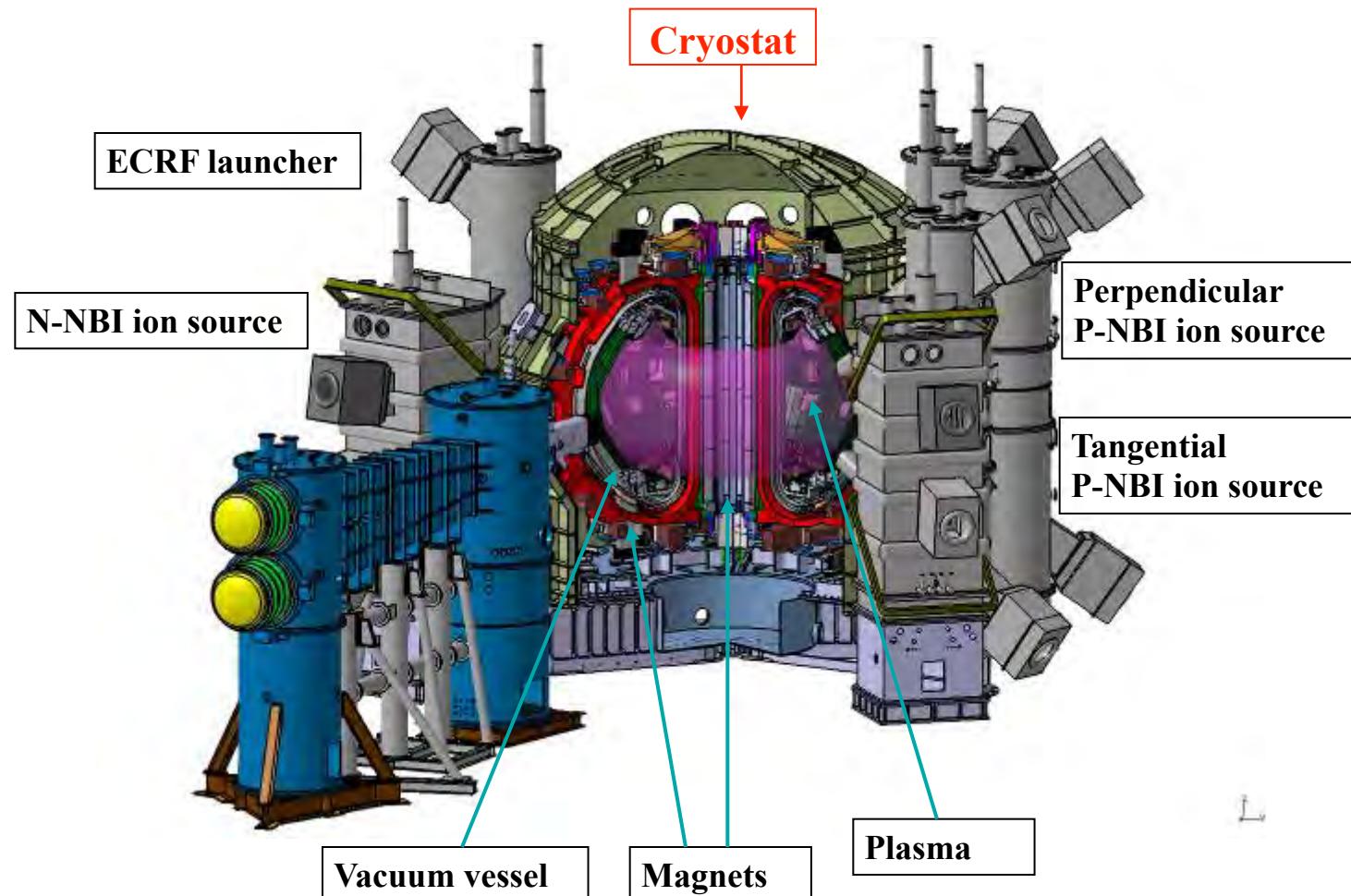
F4E contratos: presencia significativa de Empresas Españolas

# El Programa de Fusión Español en Tecnología liderado por CIEMAT

- Broader Approach IFMIF, JT60
  - ITER
  - Materiales
  - Technologías blanket
  - Proyecto Technofusion
  - Barcelona B-Fus project
- + gran esfuerzo en la modelización teórica con el uso de superordenadores y tecnología GRID

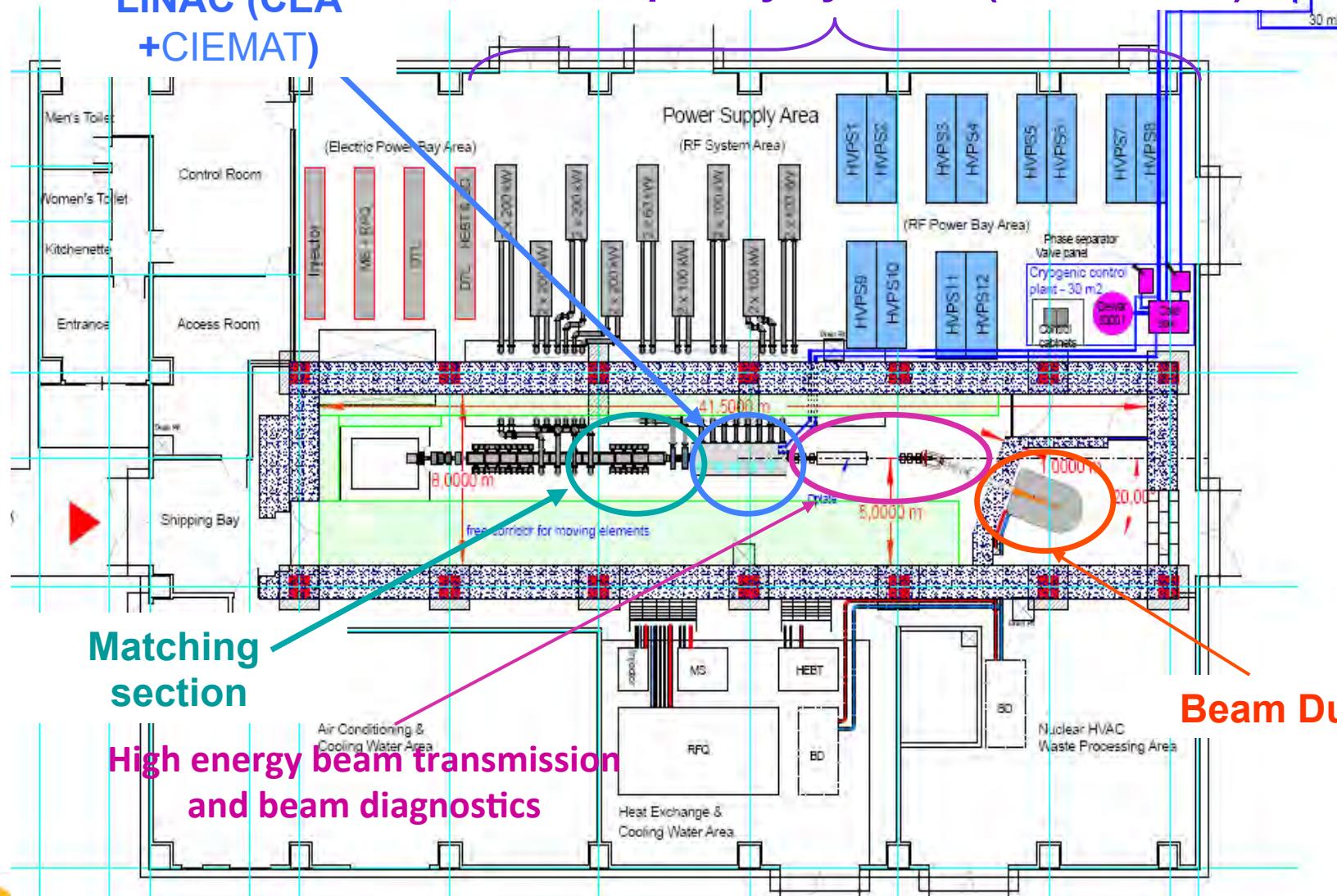
# Spain (CIEMAT) in the Broader Approach to Fusion : JT60

## Construction of the Cryostat



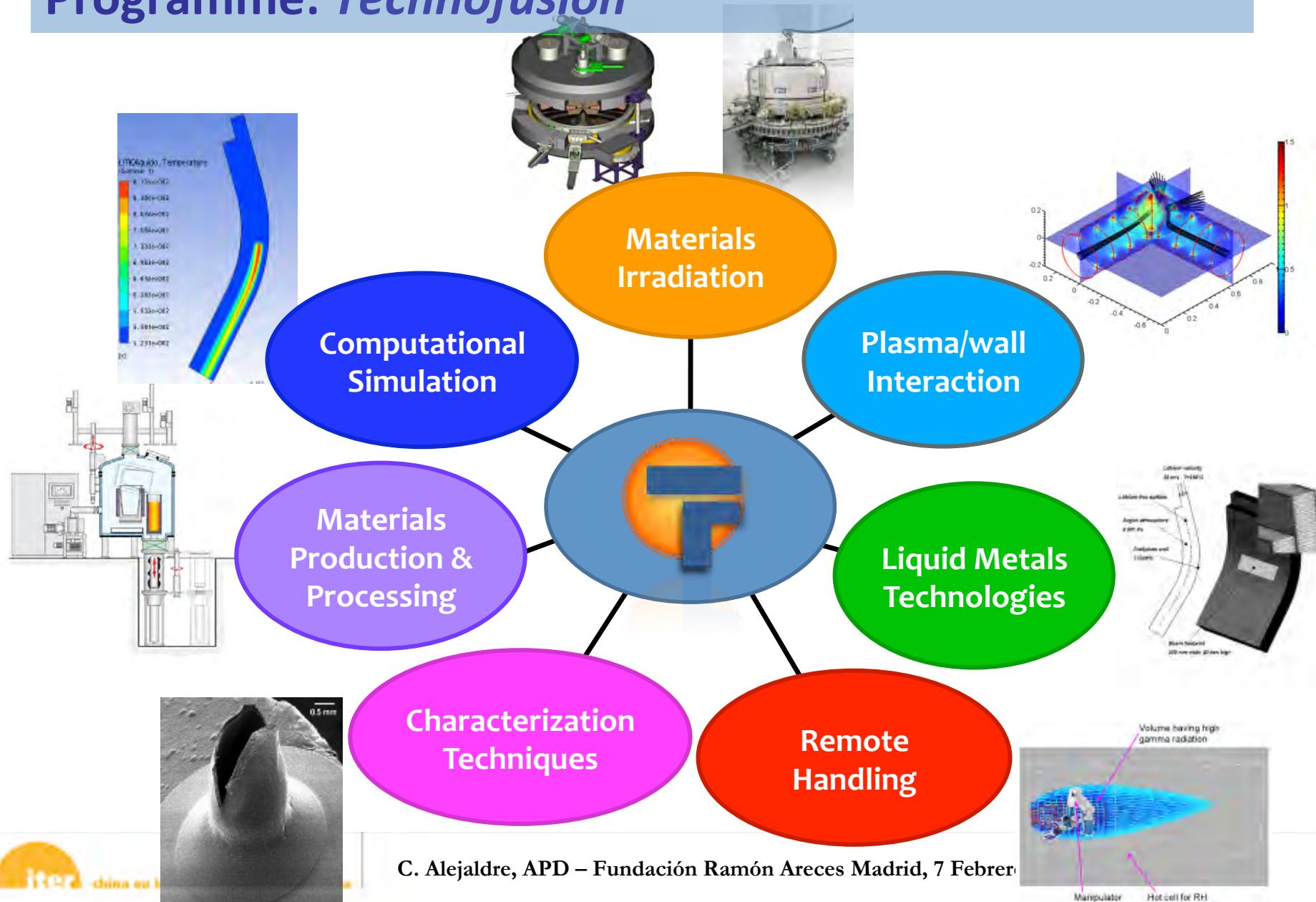
# IFMIF accelerator contributions

## Half-Wave LINAC (CEA +CIEMAT)



## Radiofrequency systems (+CEA, SCK)

# A fusion technology facility open to the European Programme: *Technofusion*



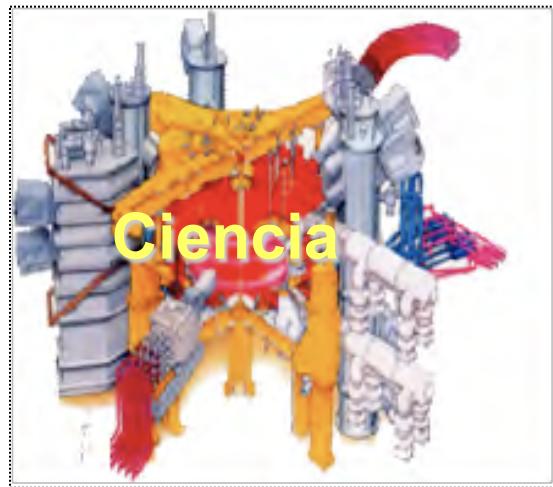
# El futuro de la Fusion

Deuterio + Tritio = Helio (3.5 MeV) + neutron (14MeV)

Energía: 1 gramo de DT = 8 toneladas de petroleo

## JET(UE) -JT60(Japon)

Física de plasmas



## ITER

Plasma de larga duración, integración de tecnologías, experimentación de módulos tritigénicos



## Producción de electricidad



Experiencia

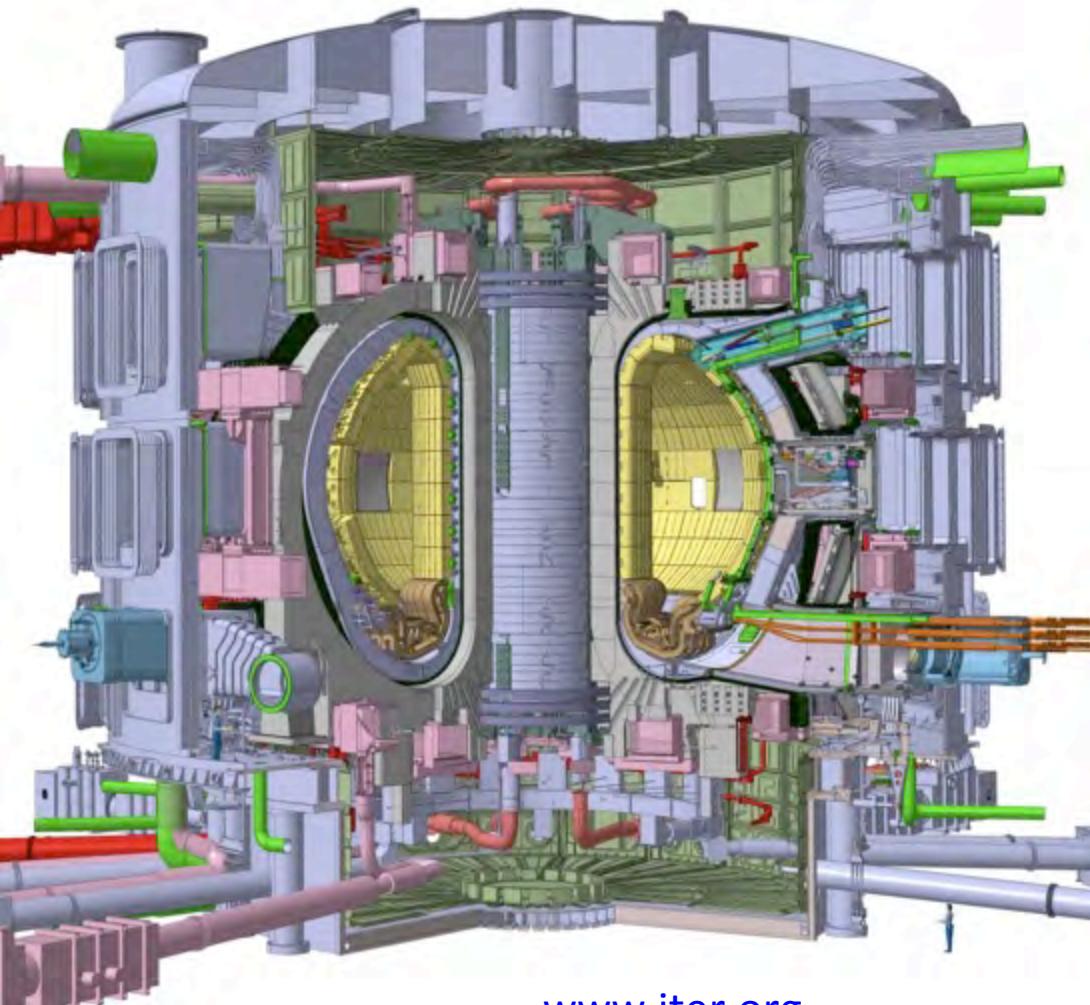


+ IFMIF  
+ JET y otros tokamaks  
+ Simulación



**DEMO**

# ITER: Un verdadero desafío físico y tecnológico



[www.iter.org](http://www.iter.org)

<http://www.fusionforenergy.europa.eu/>

[www.ciemat.es](http://www.ciemat.es)

**ITER es un paso muy importante en una nueva era en la que una novedosa fuente de energía segura, inagotable y medioambientalmente aceptable estará disponible para toda la humanidad.**

ITER a través de la agencia Europea de Fusión basada en Barcelona, el programa de fusión Español basado en CIEMAT y la propia organización internacional ITER en Cadarache ofrece múltiples oportunidades para la Industria Española.



iter

china eu india japan korea russia usa

**Muchas gracias por su atención**