



COMISSIÓ  
EUROPEA

Recerca Comunitària

# LA RECERCA EN FUSIÓ

Una opció energètica  
per al futur d'Europa

INFORMACIÓ GENERAL



EURATOM





*T'interessa la recerca europea?*

*RTD info és la nostra revista trimestral per mantenir-te al corrent dels esdeveniments principals*

*(resultats, programes, actes, etc.).*

*Està disponible en anglès, francès i alemany. Se'n pot sol·licitar un exemplar o la subscripció gratuïts a:*

*Comissió Europea*

*Direcció General de Recerca*

*Unitat d'Informació i Comunicació*

*B-1049 Brussel·les*

*Fax (32-2) 29-58220*

*Correu electrònic: [research@ec.europa.eu](mailto:research@ec.europa.eu)*

*Internet: [http://ec.europa.eu/research/index\\_en.cfm](http://ec.europa.eu/research/index_en.cfm)*

**COMISSIÓ EUROPEA**

*Direcció General de Recerca*

*Recerca en Energia de Fusió*

*Unitat J6 Acords d'Associació de Fusió*

*Contacte: Hugues Desmedt*

*Comissió Europea*

*Oficina CDMA 00/066*

*B-1049 Brussel·les*

*Tel. (32-2) 29-98987*

*Fax (32-2) 29-64252*

*Correu electrònic: [hugues.desmedt@ec.europa.eu](mailto:hugues.desmedt@ec.europa.eu)*

Comissió Europea

# **LA RECERCA EN FUSIÓ**

**Una opció energètica  
per al futur d'Europa**

***Europa Directe és un servei que ajuda a resoldre  
els teus dubtes sobre la Unió Europea***

***Telèfon gratuït:  
00 800 6 7 8 9 10 11***

**AVÍS LEGAL:**

Ni la Comissió Europea ni qualsevol altra persona que actuï en nom seu no és responsable de l'ús que es pugui fer de la informació aquí continguda.

Les opinions expressades en aquesta publicació són responsabilitat exclusiva del seu autor i no reflecteixen necessàriament el parer de la Comissió Europea.

Una gran quantitat d'informació addicional sobre la Unió Europea està disponible a Internet. S'hi pot accedir a través del servidor Europa (<http://europa.eu>).

Les dades bibliogràfiques es poden trobar al final d'aquesta publicació.

Luxemburg: Oficina de Publicacions Oficials de les Comunitats Europees, 2005

© Comunitats Europees, 2005

Se n'autoritza la reproducció si se'n cita la font.

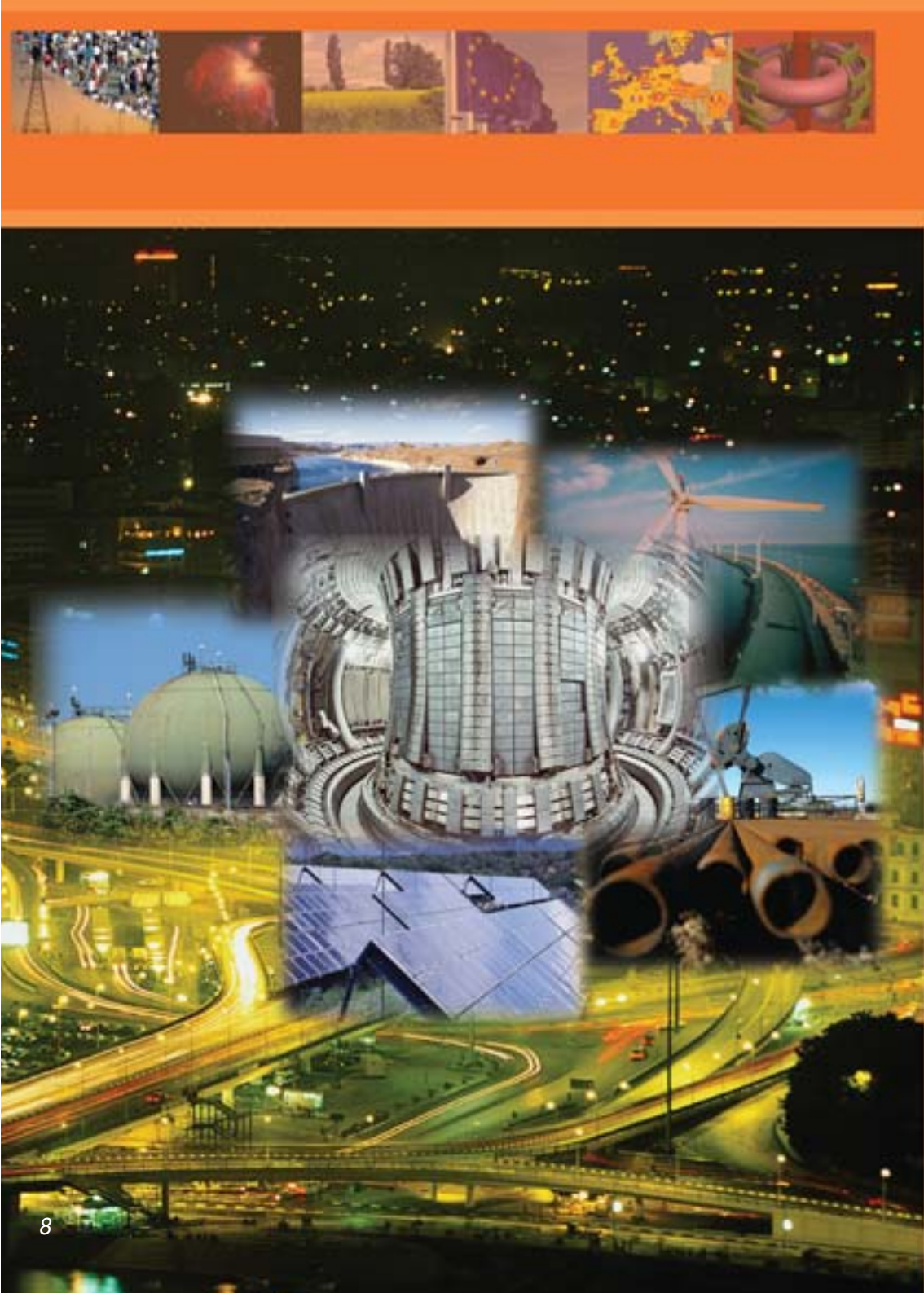
Imprès a Bèlgica

IMPRÈS EN PAPER BLANQUEJAT SENSE CLOR

# Continguts

INTRODUCCIÓ A LA FUSIÓ	
La necessitat d'una energia segura i sostenible	9
La font d'energia dels estels	10
Fusió per a la producció d'energia	11
Seguretat	12
Impacte en el medi ambient	13
Avanços en la recerca en fusió per confinament magnètic	14
EL PROGRAMA DE FUSIÓ EUROPEU	
ITER i l'estratègia europea de fusió	16
L'Àrea Europea de Recerca en Fusió	18
COM FUNCIONA LA FUSIÓ?	
La fusió per confinament magnètic	20
Components principals d'un tokamak	22
Escalfament del plasma	24
Diagnosi i modelat del plasma	25
ITER, el camí cap a l'energia de fusió	26
Activitats tecnològiques a llarg termini	28
Activitats de divulgació a Europa	30
EIROforum	32
Activitats educatives i de formació a Europa	33
Aplicacions dels productes R+D de fusió en altres àrees d'alta tecnologia	34
Referències	35
"Starmakers" (Els fabricants d'estels)	38
DVD	39









## La necessitat d'una energia segura i sostenible

L'economia de la Unió Europea (UE) depèn del fet que es disposi de subministraments d'energia segurs i suficients. Avui dia, aquesta demanda se satisfà sobretot amb combustibles fòssils (petroli, carbó i gas natural), que reten compte del 80% del total de l'energia consumida. Gairebé el 67% del combustible fòssil que s'utilitza és importat. En termes generals, es podria dir que, avui dia, els combustibles fòssils importats cobreixen al voltant del 50% de les necessitats energètiques de la UE i que, per al 2030, es preveu que arribin al 70%, especialment el petroli.

Es requereixen fonts d'energia segures i sostenibles per mantenir el nostre nivell de vida. Els investigadors europeus estan desenvolupant diverses tecnologies energètiques, mediambientalment acceptables, segures i sostenibles. La fusió n'és una.

A llarg termini, la fusió fornirà la possibilitat de disposar d'una font d'energia a gran escala que tingui un impacte baix en el medi ambient i que sigui segura, amb unes grans reserves de combustible distribuïdes arreu de la Terra.

Les centrals d'energia de fusió seran especialment adequades per subministrar la càrrega energètica bàsica que cobreixi les necessitats de les àrees densament poblades i les zones industrials. També podran produir l'hidrogen per a una economia basada en l'hidrogen.

Aquest fullet descriu el treball que els investigadors europeus estan duent a terme per aconseguir que l'energia de fusió estigui disponible per al benefici de la societat.



## La font d'energia dels estels

La fusió és el procés que proporciona l'energia del sol i, en general, dels estels. Els nuclis dels àtoms de massa petits es fusionen i alliberen energia. En el nucli del sol, la gran pressió gravitatòria permet que aquest procés es produeixi a temperatures d'uns 10 milions de graus Celsius.

El gas escalfat a aquesta temperatura es converteix en un "plasma", en què els electrons estan totalment separats dels nuclis atòmics (ions). El plasma és el quart estat de la matèria i presenta un conjunt de propietats específiques. L'estudi d'aquestes propietats és l'objectiu de la recerca en física del plasma. Tot i que el plasma és un estat rar a la Terra, més del 99% de l'univers està constituït per plasmes.

A pressions molt més baixes (10.000 milions de vegades menors que les del sol), que són les que podem aconseguir a la Terra, es requereixen temperatures per damunt de 100 milions de graus Celsius per obtenir ritmes adients de producció d'energia de fusió. Per arribar a aquestes temperatures, cal escalfar intensament el plasma i evitar les pèrdues de calor tot mantenint el plasma calent lluny de les parets del receptacle que el conté. Això s'aconsegueix col·locant el plasma en una "gàbia" toroidal, construïda amb camps magnètics molt intensos, que impedeixen que s'escapin les partícules, elèctricament carregades, del plasma: aquesta és la tecnologia més avançada disponible avui dia i és la base del programa europeu de fusió.



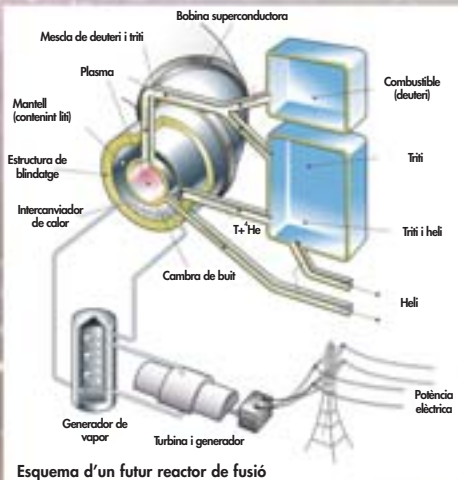
# Fusió per a la producció d'energia



La reacció de fusió



Les reaccions de fusió entre dos isòtops d'hidrogen –deuteri (D) i triti (T)– constitueixen la base per al desenvolupament d'un reactor de fusió de primera generació, ja que altres reaccions de fusió requereixen temperatures encara més elevades. El deuteri és un isòtop que hi ha a la natura, no radioactiu, que es pot extreure de l'aigua (com a mitjana hi ha 35 g de deuteri per metre cúbic d'aigua). No hi ha triti present de manera natural a la Terra, però es generarà en el reactor de fusió a partir de liti (un metall lleuger i abundant). Cada reacció de fusió produeix una partícula alfa (o sia, un nucli d'heli) i un neutró d'alta energia.



Els neutrons s'escapen del plasma i són frenats en una capa o embolcall ("mantell fèrtil") que envolta el plasma. En aquest mantell, el liti es transforma en triti, que es recupera i s'injecta de nou a la cambra de buit com a combustible, i la calor generada pels neutrons es pot utilitzar per generar vapor que mogui turbines per produir electricitat. La quantitat de combustible que necessitaria una central de fusió per subministrar electricitat durant un any a una ciutat d'un milió d'habitants seria la càrrega d'un camió petit.



## Seguretat



Instal·lacions per al tractament del triti

Un reactor de fusió és com un cremador de gas: el combustible que s'injecta en el sistema es crema. En tot moment hi ha molt poca quantitat de combustible a la cambra de reacció (prop d'1 g de D-T en un volum de 1000 m<sup>3</sup>) i, si s'interromp el subministrament de combustible, sols hi ha reaccions de fusió durant uns pocs segons. Qualsevol errada de la instal·lació provocaria que el plasma es refredi i les reaccions s'aturin.

Tant els combustibles bàsics per a la fusió, el deuteri i el liti, com el producte de la reacció, l'heli, són no radioactius. El combustible radioactiu intermedi, el triti, es desintegra raonablement de pressa (té una vida mitjana de 12,6 anys) i la seva desintegració produeix un electró (radiació beta) de molt baixa energia. A l'aire, aquest electró pot viatjar sols uns pocs mil·límetres i ni tan sols pot penetrar en un full de paper. Tanmateix, el triti és nociu si entra en el cos, de manera que per controlar-ho es dissenyen i s'implementen elements de seguretat a la instal·lació.

Com que el triti es produeix a mesura que es va necessitant per mantenir els processos de fusió a la cambra del reactor, no es necessita un transport freqüent de combustible radioactiu a la central elèctrica de fusió.





## Impacte en el medi ambient

L'energia generada per les reaccions de fusió es farà servir de la mateixa manera que es fa avui dia, per exemple, per a la producció d'electricitat, com a calor per a ús industrial, o possiblement per a la producció d'hidrogen.

El consum de combustible d'una central elèctrica de fusió serà extremadament baix. Una central de fusió d'1 GW (elèctric) necessitarà prop de 100 kg de deuteri i 3 tones de liti natural per operar durant un any sencer, amb la qual cosa produirà prop de 7 bilions de kWh. Una central elèctrica de carbó, sense segrest de carboni, requereix prop d'1,5 milions de tones de combustible per generar la mateixa energia.

Els reactors de fusió no produeixen gasos d'efecte hivernacle ni altres contaminants que puguin danyar el medi ambient i/o causar canvi climàtic.



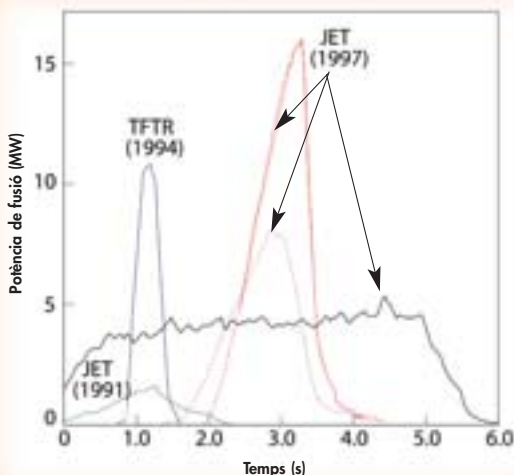
Els neutrons generats per la reacció de fusió activen els components situats al voltant del plasma. Una tria acurada dels materials d'aquests components permetrà que puguin ser alliberats del control de l'organisme regulador competent (i possiblement reciclats) al cap d'uns 100 anys de la parada de la planta. Per aquestes raons, els residus de les plantes de fusió no suposaran una càrrega per a les generacions futures.

Instal·lacions del tokamak europeu JET  
(Culham-Regne Unit)



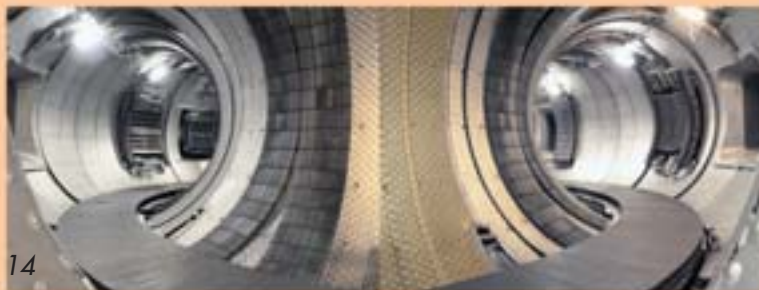
## Avenços en la recerca en fusió per confinament magnètic

El tokamak europeu JET (Joint European Torus) situat a Culham (Regne Unit) es la instal·lació de fusió més gran del món i és l'única avui dia capaç de treballar amb una mescla de combustible de D-T. JET ha assolit tots els objectius originals i, en alguns casos, els ha sobrepassat. L'any 1997 va aconseguir un rècord mundial de producció de potència de fusió amb 16 MW.



Rècords assolits de potència de fusió

Hi ha un gran nombre d'importantes instal·lacions experimentals a Europa que contribueixen a crear la base de coneixements necessària per a l'avenç de la recerca en fusió. Per exemple, fa poc s'ha assolit un rècord en el gran tokamak TORE SUPRA a França, que estudia l'operació en estat quasiestacionari dels dispositius de fusió. L'any 2003 va produir una descàrrega de plasma d'alt rendiment d'una durada rècord: 6 minuts i mig. L'energia total injectada per mantenir el plasma durant aquest temps, i que també va haver de ser extreta com a calor, va ser més d'un giga-joule (GJ) (mil milions de joules, suficient per fer bullir tres tones d'aigua).



Tore Supra (Cadarache, França) rècord de durada d'una descàrrega de plasma

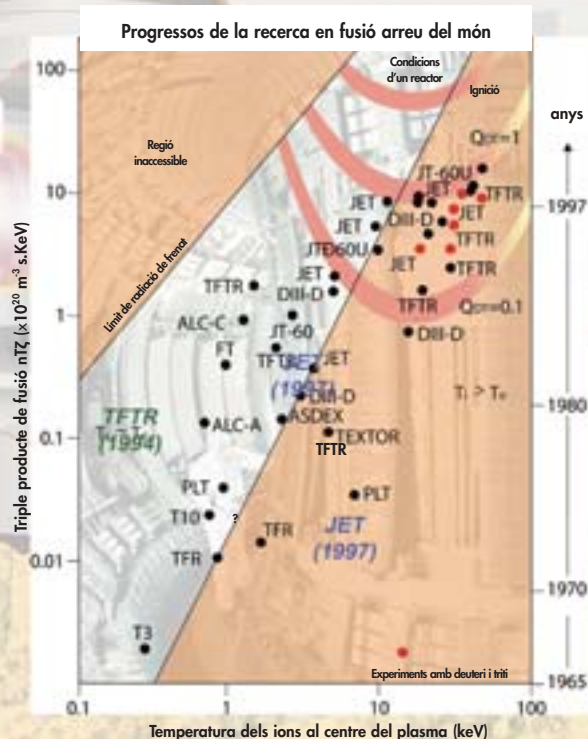


Una mesura senzilla del rendiment de les màquines de fusió la proporciona el guany de potència  $Q$ , que expressa la relació entre la potència resultant de les reaccions de fusió i la potència d'escalfament aplicada externament al plasma.

Un plasma de fusió arriba a la condició d'automanteniment o ignició ( $Q = \infty$ ) quan les pèrdues d'energia s'equilibren amb l'energia produïda a les reaccions de fusió. Quan s'assoleix aquesta condició, ja no cal escalfament extern per mantenir les condicions d'alta temperatura necessàries per a la fusió. Igual que en un foc, el plasma continuarà encès mentre tingui combustible que l'alimenti. En els futurs reactors de fusió no caldrà arribar a aquesta situació, n'hi haurà prou de dissenyar amplificadors de potència adequats.

JET ha generat 16 MW d'energia de fusió amb  $Q = 0,65$ . La següent gran màquina, ITER, aspira a assolir  $Q = 10$ , mentre que els futurs reactors de fusió podrien arribar a valors de  $Q$  fins a 40 o 50.

Com que la major part dels dispositius experimentals de fusió no utilitzen triti com a combustible, la seva operació es caracteritza per una combinació adient dels paràmetres del plasma, que mostra com de prop se situa de les condicions rellevants per a la fusió. La figura representa els valors mesurats de  $Q$  enfront de la temperatura del plasma per a un gran nombre de tokamaks d'arreu del món. Els millors resultats s'han obtingut en màquines de fusió amb paràmetres de plasma propers als necessaris per a un reactor.





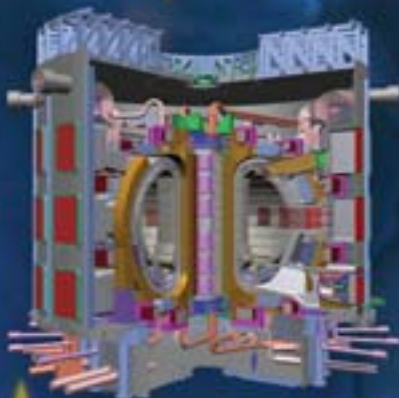


## ITER i l'estratègia europea de fusió

L'objectiu a llarg termini de R+D en fusió dels estats membres de la Unió Europea (més els països associats al Programa Marc d'EURATOM) és "la creació conjunta de prototips de reactor per a centrals d'energia que satisfacin les necessitats de la societat, com a operació segura, compatibilitat mediambiental i viabilitat econòmica".

L'estratègia per assolir aquest objectiu a llarg termini inclou el desenvolupament d'un reactor experimental, emprès dins de la col·laboració internacional "ITER". L'objectiu programàtic global del tokamak ITER és demostrar la viabilitat científica i tecnològica de l'energia de fusió amb finalitats pacífiques. ITER assolirà aquest objectiu demostrant la combustió controlada de plasmes de deuteri-triti, en estat estacionari com a meta final, i posant a prova tecnologies essencials per a un reactor en un sistema integrat.

ITER anirà seguit d'un reactor de demostració ("DEMO"), que, per primera vegada, serà capaç de generar quantitats significatives d'electricitat i serà autosuficient per produir el triti que necessita. La construcció d'ITER, i després la de DEMO, requeriran una participació important de la indústria europea i aniran acompanyades d'activitats complementàries de R+D en física i tecnologia en els laboratoris de fusió i a les universitats.



Esquema d'ITER



La participació en el disseny d'ITER (juntament amb els socis internacionals) ha estat un element important del programa europeu de fusió en els últims anys. L'esquema conceptual d'aquest disseny es basa en el de la màquina europea JET (Joint European Torus, Culham, Regne Unit), que va assolir un rècord mundial el 1997 en obtenir com a resultat 16 MW de potència de fusió. L'extrapolació necessària per al disseny d'ITER s'ha dut a terme per mitjà de models, fent servir l'àmplia base de dades experimentals obtinguda a partir dels experiments de fusió europeu i internacionals.

La col·laboració per el projecte ITER es duu a terme sota els auspicis de l'Organització Internacional d'Energia Atòmica (IAEA, Viena). L'objectiu global estratègic d'ITER és demostrar la viabilitat científica i tecnològica de l'energia de fusió amb finalitats pacífiques.



Visió artística de l'emplaçament europeu d'ITER a Cadarache

En paral·lel a ITER s'estan duent a terme treballs a llarg termini sobre diferents temes de R+D per a DEMO. Un objectiu important és el desenvolupament de materials estructurals avançats (en particular, amb característiques de baixa activació), que estiguin optimitzats per a les condicions d'un reactor de fusió.



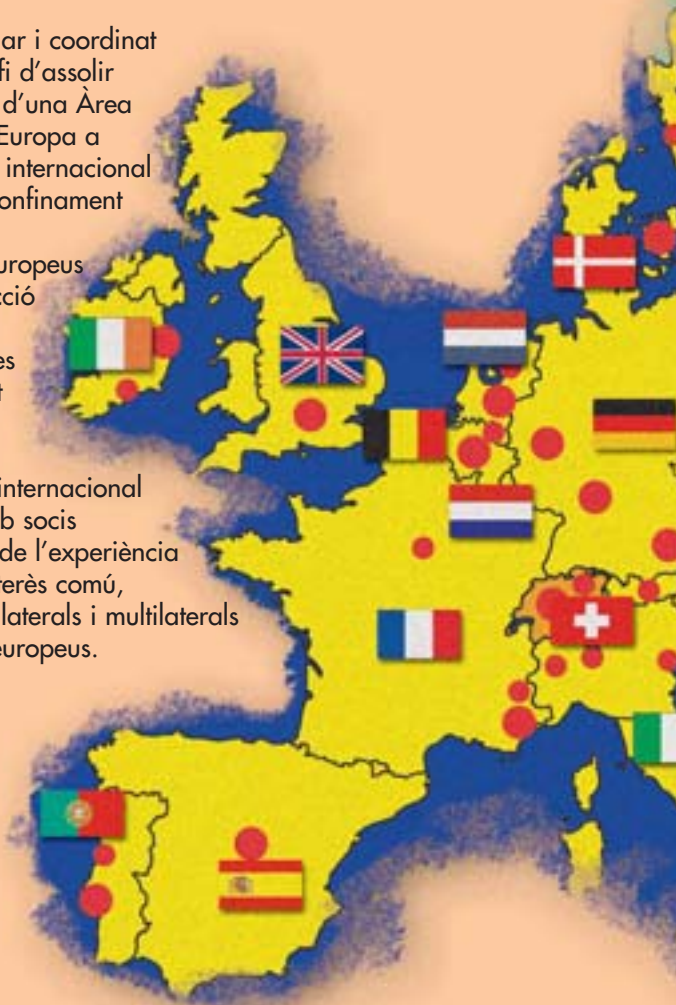
## L'Àrea Europea de Recerca en Fusió

Un aspecte clau del programa europeu de fusió és la seva coordinació singular, gràcies a la qual, en les col·laboracions paneuropees en els grans temes de recerca, s'aconsegueix un ús intensiu de tots els recursos de R+D. Té una importància especial la col·laboració en l'explotació de JET i en el programa tecnològic, dins de l'Acord Europeu per al Desenvolupament de la Fusió (European Fusion Development Agreement, EFDA), que està molt orientat cap a ITER, però que inclou també altres recerques a més llarg termini sobre DEMO.

Aquest programa de fusió singular i coordinat amb grans i petits laboratoris a fi d'assolir un objectiu comú és un exemple d'una Àrea Europea de Recerca i ha portat Europa a una posició dominant en l'àmbit internacional dins de la recerca en fusió per confinament magnètic.

Els èxits assolits en laboratoris europeus associats han permès la construcció de JET i el progrés cap a ITER, cosa que cap dels estats membres o estats associats no hauria estat capaç d'assolir en solitari.

Ultra la important col·laboració internacional a ITER, hi ha col·laboracions amb socis no europeus per reunir el millor de l'experiència mundial en temes específics d'interès comú, per mitjà d'un seguit d'acords bilaterals i multilaterals entre laboratoris europeus i no europeus.







D'acord amb el tractat d'Euratom, el programa de recerca i desenvolupament en fusió d'Europa està coordinat per la Comissió Europea i implementat mitjançant:

- Contractes d'associació amb instituts de recerca o amb organitzacions en els estats membres i en els països associats al Programa Marc d'Euratom (els laboratoris de les Associacions Euratom apareixen representats sobre el mapa per mitjà de punts vermells).
- L'acord EFDA, que s'ocupa de:
  - Les activitats de les associacions i la indústria en tecnologia de fusió,
  - L'ús col·lectiu de les instal·lacions de JET, i
  - Les contribucions europees a col·laboracions internacionals, com ara ITER.
- Contractes de durada limitada en països sense una "associació" de fusió.
- Un acord per promoure la mobilitat d'investigadors i becaris.

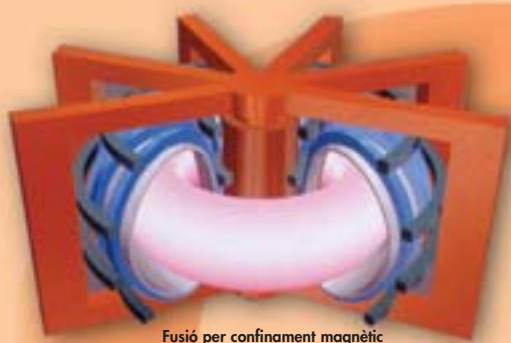
En el sisè Programa Marc de la UE (del 2002 al 2006), la recerca en energia de fusió és una àrea temàtica prioritària dotada d'un pressupost comunitari de 750 milions d'euros (fins a 200 d'aquests es podrien invertir a iniciar la construcció d'ITER).

L'èxit de la recerca europea en fusió té el suport d'uns 2000 científics i enginyers dels laboratoris i la indústria.

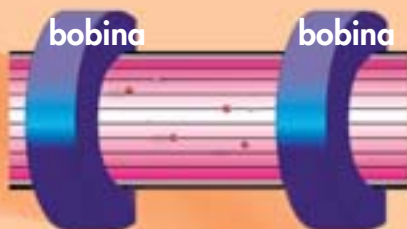


# La fusió per confinament magnètic

En la fusió per confinament magnètic es fan servir camps magnètics intensos per confinar el plasma en un recipient anomenat "cambra de buit" que l'aïlla de l'aire. En una situació ideal, els ions i els electrons carregats elèctricament que constitueixen el plasma no poden travessar les línies de camp magnètic. Tanmateix es poden moure lliurement al llarg

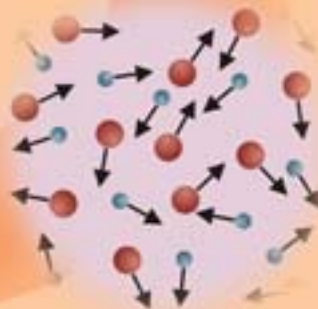


Fusió per confinament magnètic



Plasma amb camp magnètic

d'aquestes línies. Si corbem les línies de camp perquè formin un cercle tancat, les partícules del plasma queden en principi confinades. Les partícules i les seves energies corresponents queden, així, ben aïllades de la paret de la cambra, amb la qual cosa mantenen una temperatura alta. Però, en realitat, en un sistema magnètic toroidal real, es produeixen pèrdues d'energia per diferents processos, com ara la radiació i les col·lisions de les partícules que fan que aquestes s'escapin del plasma i travessin progressivament les línies de camp magnètic.



Plasma sense camp magnètic

Els camps magnètics es generen amb corrents elèctrics alts que circulen per bobines instal·lades fora de la cambra del reactor. Tot sovint els corrents generats en el plasma contribueixen, també, a formar la gàbia magnètica.

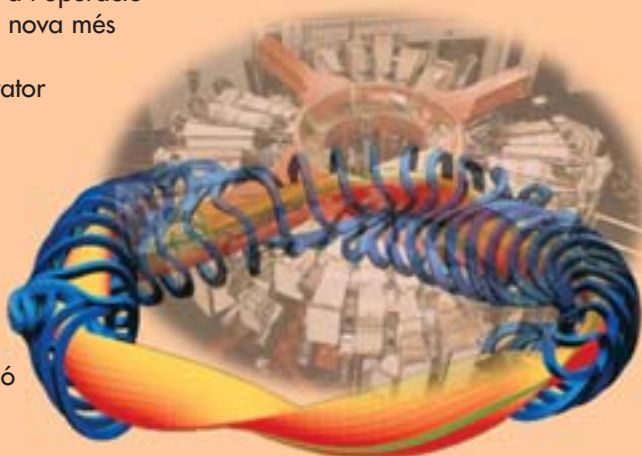


En els aparells de tipus "tokamak" el plasma actua com el secundari d'un transformador (el primari és una bobina externa) i un canvi de corrent en el primari induïx un corrent en el plasma. El corrent del plasma no sols produeix un camp que contribueix a confinar el plasma, sinó que també proporciona escalfament, a causa de la resistència elèctrica del plasma. Com que un transformador no pot generar corrent de manera indefinida en el mateix sentit, el plasma té una durada limitada i calen altres mètodes per mantenir l'estat estacionari.



Representació esquemàtica d'un Tokamak

Els aparells de tipus "stellarator" també es basen en el confinament magnètic, però fent servir bobines externes de geometria complicada i sense recórrer a l'efecte transformador que crea corrent en el plasma. Per tant, els stellarators tenen potencialment una capacitat intrínseca per a l'operació contínua. La instal·lació nova més gran, actualment en construcció, és el stellarator W 7-X a Greifswald (Alemanya). Altres configuracions magnètiques relacionades amb els tokamaks i stellarators són el "tokamak compacte" (esfèric) i el "dispositiu d'estricció magnètica de camp invertit" (*reversed field pinch*).



Representació esquemàtica d'un Stellarator





# Components principals d'un Tokamak

## Solenoides central

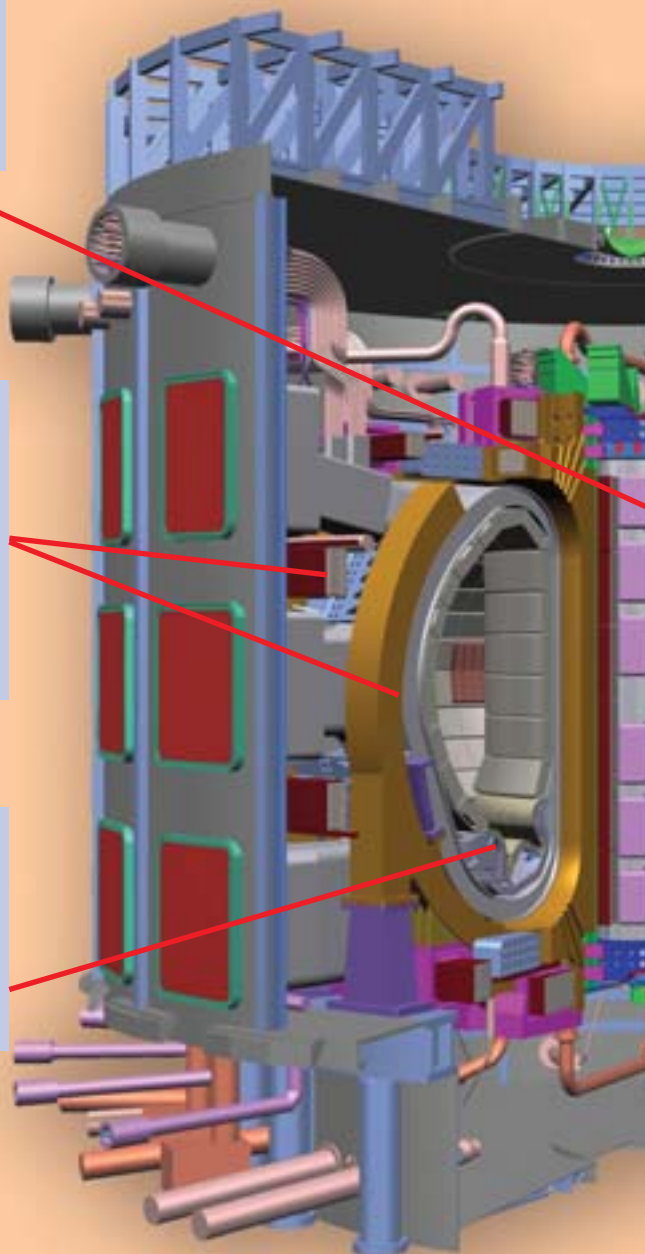
És el circuit primari del transformador. El plasma constitueix el circuit secundari.

## Bobines de camp toroidal i bobines de camp poloidal

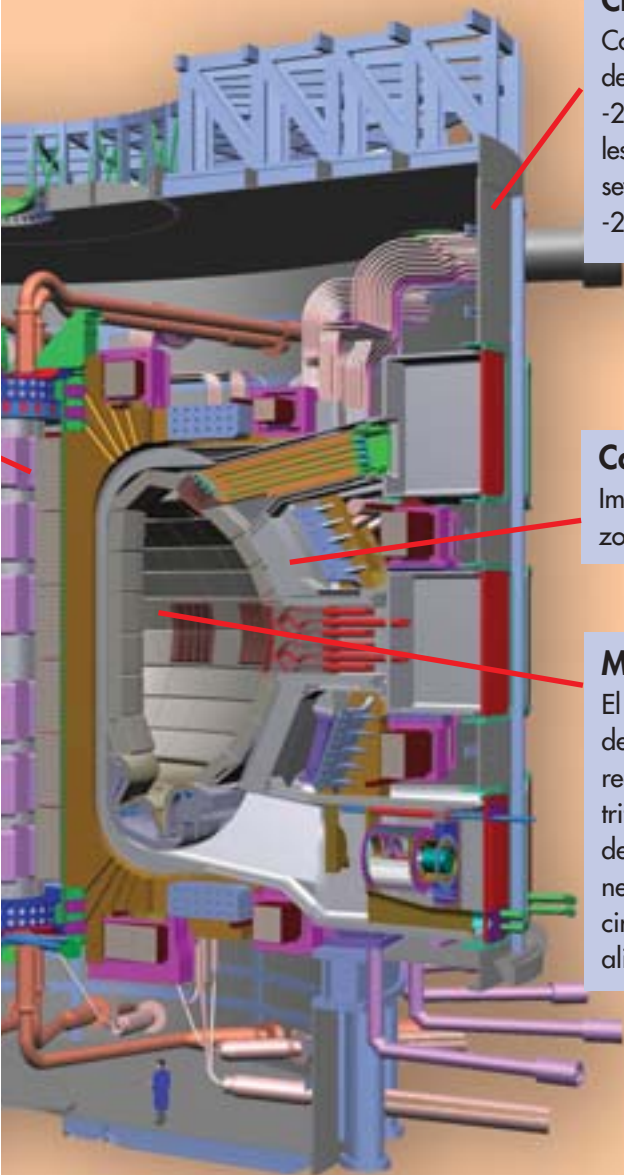
Generen un fort camp magnètic (típicament d'uns 5 Tesla, unes 100.000 vegades el camp magnètic terrestre) que confina el plasma i impedeix que toqui les parets de la cambra de buit.

## Divertor

Extrau les impureses i l'heli de la cambra de buit i és l'única zona en què es permet de manera deliberada que el plasma toqui les parets.







### **Criòstat**

Conté les bobines i la cambra de buit i està a una temperatura de -200 graus Celsius per mantenir les bobines superconductores a la seva temperatura d'operació de -269 graus Celsius.

### **Cambra de buit**

Impedeix que l'aire entri a la zona on hi ha el plasma confinat.

### **Mantell**

El liti es troba en els mòduls del mantell. Quan els neutrons reaccionen amb el liti, es produeix triti, que es pot extraure i introduir de nou en el plasma. L'energia dels neutrons es fa servir per escalfar un circuit d'aigua i produir vapor, que alimentarà els generadors elèctrics.



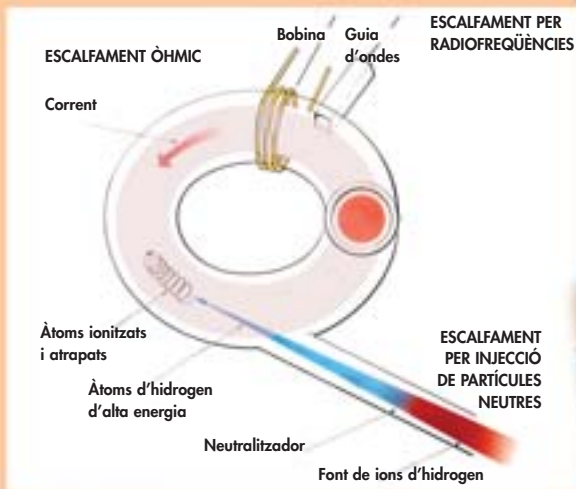
# Escalfament del plasma

El corrent que flueix a través del plasma en un tokamak contribueix a escalfar-lo. A mesura que la temperatura del plasma s'apuja, aquest escalfament òhmic cada cop és menys efectiu, de manera que la temperatura sols arriba a assolir uns pocs milions de graus, és a dir, al voltant d'un factor 10 per sota del valor necessari perquè s'esdevinguin reaccions de fusió en gran quantitat. Per assolir temperatures més elevades, cal proporcionar més escalfament al plasma per mitjà de fonts externes.

L'escalfament per mitjà d'alta freqüència utilitza ones electromagnètiques –amb alta potència i a diferents freqüències– que transfereixen la seva energia al plasma per mitjà d'absorció ressonant. S'estan desenvolupant



tres d'aquests sistemes: l'escalfament ressonant a la freqüència ciclotrònica dels ions (Ion Cyclotron Resonance Heating, ICRH, a freqüències entre 20 i 55 MHz), l'escalfament ressonant a la freqüència ciclotrònica dels electrons (Electron Cyclotron Resonance Heating, a freqüències entre 100 i 200 GHz), i l'escalfament en la freqüència híbrida inferior (Lower Hybrid Heating, LHH, a freqüències entre 1 i 8 GHz).



Antena de radiofreqüència a "Tore Supra" (CEA, Cadarache, França)



També s'injecten en el plasma feixos de partícules neutres energètiques que penetren en el seu si i li transfereixen la seva energia cinètica per mitjà de col·lisions amb les partícules que formen el plasma.

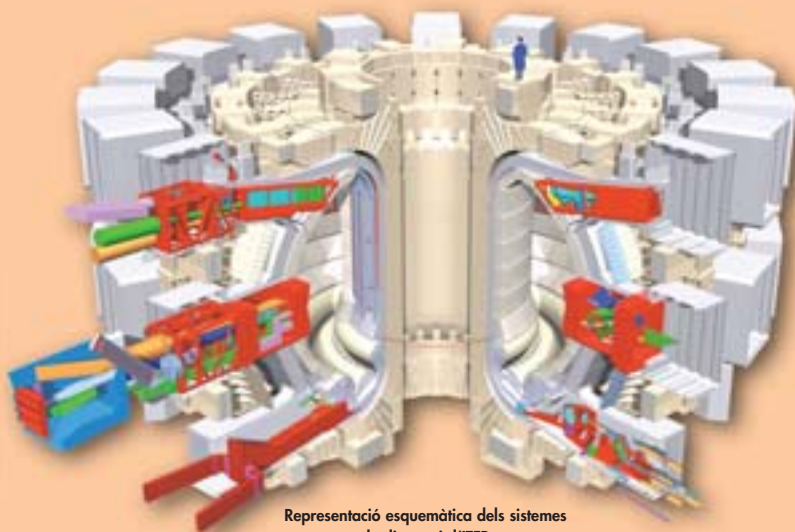


## Diagnosi i modelat del plasma

Per saber com dissenyar un reactor de fusió, cal entendre els processos que tenen lloc en el plasma. Això s'aconsegueix per mitjà de l'ús de sofisticats i complexos sistemes de mesura anomenats diagnosi.

Aquestes diagnosi, que es duen a terme en els diferents laboratoris europeus, són capaces de monitoritzar cada aspecte del plasma, des de la temperatura en el seu centre, utilitzant potents làsers, fins a la quantitat i l'origen de les impureses presents.

Les dades així obtingudes es fan servir per al desenvolupament de nous codis d'ordinador que al final hauran de ser capaços de predir els resultats de la màquina i assegurar que aquesta funciona segons el que es està previst.



Representació esquemàtica dels sistemes de diagnosi d'ITER



# ITER, el camí cap a l'energia de fusió

ITER és la pròxima fita en el desenvolupament d'un reactor nuclear de fusió.

El projecte ITER es basa en una col·laboració internacional de gran èxit, a través d'una àmplia varietat de projectes de R+D. ITER podrà generar 400 MW de potència de fusió durant 6 minuts, que s'estendran més endavant cap a l'estat estacionari.

La inversió de capital d'ITER s'eleva a 4600 milions d'euros (amb valor de l'any 2000). Així que s'arribi a un acord entre els socis internacionals, la seva construcció durarà entre 8 i 10 anys i funcionarà durant 20 anys aproximadament.

ITER es basa en els resultats científics de moltes màquines d'arreu del món.

Prototip a escala 1:1 del divertor d'ITER

Plataforma de prova per a la manipulació remota del divertor d'ITER

Girotró per generar les microones d'alta freqüència

Assaig amb alts fluxos de ca





Soldadura mitjançant làser d'alta potència (11 kW) per als sectors de la cambra de buit



Proves del model de bobina de camp toroidal



Girotrò d'1 MW per generar les microones d'alta freqüència



calor de les llosetes del blindatge de protecció



Maqueta 1:1 del blanc vertical del divertor provat a Framatome



Instal·lació per a les proves del mantell

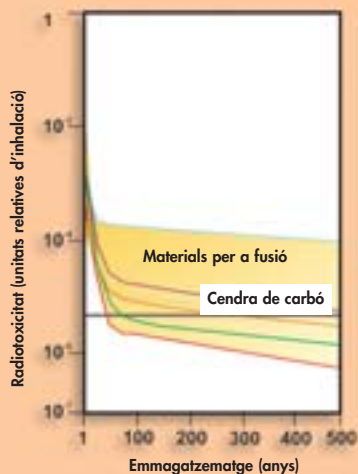


## Activitats tecnològiques a llarg termini

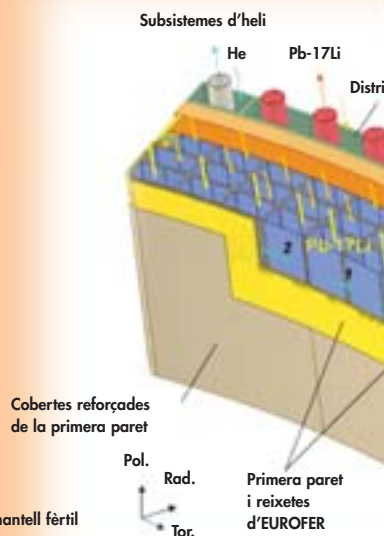
A més dels treballs per a ITER, s'està duent a terme molta recerca i desenvolupament en tecnologia de fusió per a DEMO. Els estudis europeus sobre el mantell fèrtil es concentren en dos models de mantell: el de liti-plom i el de boles ceràmiques fèrtils, tots dos refrigerats per heli. Aquesta recerca és cabdal per al desenvolupament del cicle del triti en un reactor de fusió.

El desenvolupament europeu de materials estructurals es concentra en els acers ferrítics i martensítics de baixa activació (EUROFER) i, anant més enllà, s'estan investigant compòsits de carbur de silici.

També s'abordaran els temes de seguretat i medi ambient. Aquests, concentrats principalment en dissenys millorats i a minimitzar l'activació dels materials, porten a la molt important conclusió que es pot dissenyar un reactor de fusió de tal manera que cap accident a la planta no requereixi l'evacuació de la població que viu a la seva vora. Els estudis socioeconòmics analitzen els aspectes econòmics i els escenaris a llarg termini de la fusió.



Decaïment de la radiotoxicitat calculat a partir de diferents models de centrals de fusió, comparat amb la radiotoxicitat de les cendres de carbó.



Disseny conceptual per als assaigs del mantell fèrtil



Bomba d'extracció de triti



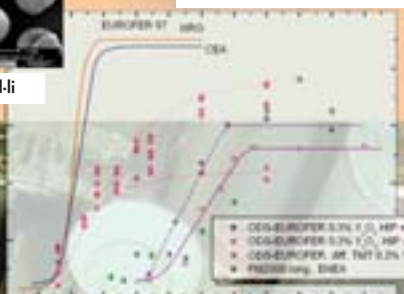
Boles de beril·li



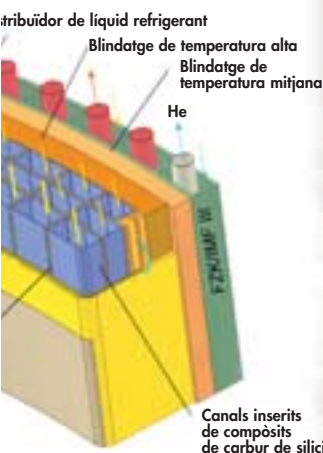
Prova de corrosió de metalls líquids



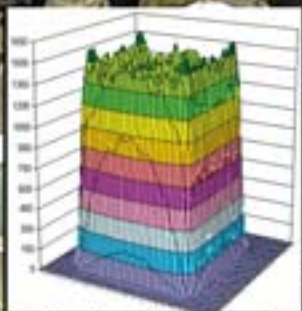
Mostres del material EUROFER



Propietats del material EUROFER



El reactor de recerca KFKI – Hongria



Perfil del feix d'irradiació d'IFMIF





## Activitats de divulgació a Europa

Per informar el públic en general i els estudiants de les activitats de recerca en fusió, s'ha creat l'exposició itinerant Fusió Expo, i s'ha presentat en moltes ciutats europees.





"Itinerari per la Fusió"

La mostra "L'itinerari per la fusió", desenvolupada per l'Associació EURATOM-FOM (Holanda), proporciona un bon exemple de les activitats divulgatives que la comunitat de fusió duu a terme amb gran èxit. Aquesta mostra consisteix en una sèrie d'experiments senzills que expliquen principis bàsics, acoblats en una funció divertida, i que van acompanyats d'una presentació explicativa.



## EIROforum

El programa de fusió europeu participa a través d'EFDA a EIROforum, una col·laboració entre set organitzacions intergovernamentals europees de recerca científica, responsables de diverses infraestructures i laboratoris. Un primer objectiu d'EIROforum és el de tenir un paper actiu i constructiu a promoure la qualitat i l'impacte de la recerca europea. Una meta específica n'és coordinar les activitats divulgatives de les organitzacions, incloent-hi la transferència de tecnologia i la informació al públic.

Els set membres d'EIROforum són, ordenats per les sigles angleses corresponents:

- **CERN** Organització Europea per a la Recerca Nuclear (Suïssa)
- **EFDA** Acord Europeu per al Desenvolupament de la Fusió (Regne Unit, Alemanya)
- **EMBL** Laboratori Europeu de Biologia Molecular (Alemanya)
- **ESA** Agència Espacial Europea (Unió Europea)
- **ESO** Observatori Europeu de l'Hemisferi Sud (Alemanya, Xile)
- **ESRF** Instal·lació Europea Radiació Sincrotró (França)
- **ILL** Institut Laue-Langevin (França)



Tercer grau de física – Monitors en acció



## Activitats educatives i de formació a Europa

L'educació i la formació de joves investigadors constitueixen una part important del programa de treball de les associacions. Molts membres del personal professional de les associacions tenen responsabilitats educatives en institucions acadèmiques, principalment universitats, i al voltant de 200 a 250 llicenciats i estudiants de doctorat duen a terme la seva recerca dins dels laboratoris de les associacions. Diverses associacions organitzen cursos de nivell universitari i escoles d'estiu sobre fusió i física de plasmes per a estudiants amb titulació universitària i investigadors graduats recentment.

Algunes de les escoles d'estiu organitzades per les associacions són:

- Escola d'estiu Carlo Magno – Grup TEC d'Associacions (Bèlgica, FZJ / Alemanya, Holanda),
- Escola d'estiu de Culham – Associació Euratom-UKAEA (Regne Unit),
- Escola d'estiu de Volos – Associació Euratom-Grècia (Grècia),
- Escola d'estiu IPP CR – Associació Euratom-Institut de Física del Plasma (República Txeca).





## Aplicacions dels productes R+D de fusió en altres àrees d'alta tecnologia

La indústria ha tingut un paper molt important a l'hora de construir els dispositius i desenvolupar les tecnologies necessàries per a la R+D en fusió i, en contrapartida, s'ha beneficiat d'aquesta relació, que li ha permès acumular experiència i generar productes comercials d'interès en altres àrees a més de la fusió. Entre aquestes aplicacions s'inclouen: tècniques de processament per plasma, tractaments de superfícies, sistemes millorats d'enllumenat, pantalles de plasma, tecnologia de buit, electrònica de potència i metal·lúrgia.



Motor espacial iònic

La transferència de coneixement des de fusió es manifesta, també, quan els investigadors d'aquest camp es traslladen a altres àrees de la tecnologia i s'emporten les capacitats adquirides. Aquesta mena de fertilització creuada i el seu caràcter interdisciplinari constitueixen una important força generadora de progrés científic i tecnològic a Europa.





## Referències

### Lectures relacionades:

“Llibre Verd - Estratègia europea per una energia sostenible, competitiva i segura”, Comissió Europea, COM(2006)105 final  
[http://ec.europa.eu/energy/green-paper-energy/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/energy/green-paper-energy/index_en.htm)

### Enllaços d'interès:

[http://ec.europa.eu/research/energy/fu/article\\_1122\\_en.htm](http://ec.europa.eu/research/energy/fu/article_1122_en.htm)  
<http://www.efda.org>  
<http://www.jet.efda.org>  
<http://www.iter.org>  
<http://www.fusion-eur.org>  
<http://www.eiroforum.org>

### Contactes per a informació addicional

R. Antidormi  
European Commission  
Directorate General RTD J6  
Fusion Association Agreements  
Rue de la loi, 200  
B-1049 Brussels  
tel: +32 229 98899 – fax: +32 229 64252  
email: Rosa.Antidormi@ec.europa.eu  
[http://ec.europa.eu/research/energy/fu/article\\_1122\\_en.htm](http://ec.europa.eu/research/energy/fu/article_1122_en.htm)

+++++  
F. Casci  
EFDA CSU Garching  
Boltzmannstr., 2  
D-85748 Garching bei Muenchen – Germany  
tel: +49 89 3299 4237 – fax: +49 89 3299 4197  
e-mail: federico.casci@efda.org – <http://www.efda.org/>

+++++  
M.T. Orlando  
Consorzio RFX,  
Management of Fusion EXPO  
Corso Stati Uniti, 4,  
35127 Padova – Italy  
tel: +39 049 829 5990 – fax: +39 049 829 5051  
e-mail: mariateresa.orlando@igi.cnr.it – <http://www.igi.pd.cnr.it>

## **VENTA Y SUSCRIPCIONES**

Podeu comprar les publicacions de pagament editades per l'Oficina de Publicacions a les seves oficines de venda, repartides arreu del món.

Consulteu la llista d'oficines de venda a la pàgina web de l'Oficina de Publicacions (<http://publications.europa.eu>), seleccioneu la que més us convingui i poseu-vos-hi en contacte per passar la comanda. La versió impresa de la llista també la podéu demanar al fax número (352) 29 29-42758.



Comissió Europea

**La recerca en fusió** — Una opció energètica per al futur d'Europa

Luxemburg: Oficina de Publicacions Oficials de les Comunitats Europees

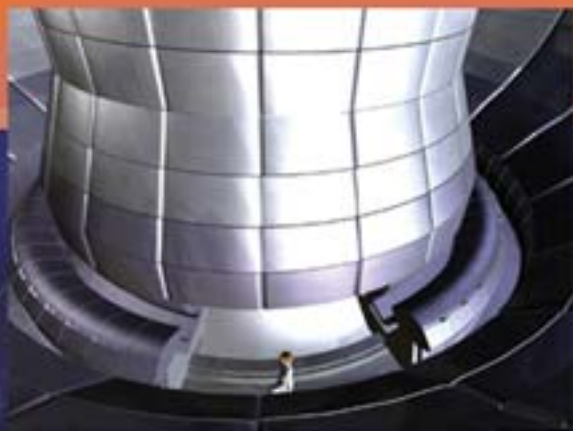
2005 — 40 pàg. — *format A5, 14,8 x 21,0 cm*

## "Starmakers" (Els fabricants d'estels)



La pel·lícula de 8 minuts "Starmakers" (Els fabricants d'estels) descriu ITER, una gran màquina experimental que es construirà a través d'una col·laboració mundial, com el "pas següent" en el camí cap a l'energia de fusió. L'espectador es pot fer una idea d'aquest gran projecte gràcies a una visita a través de la realitat virtual. A la Fusió Expo, la pel·lícula, vista a través d'unes ulleres passives polaritzades, transporta l'audiència a un espectacular viatge de realitat virtual en 3D. La versió que es distribueix aquí és en 2D i no requereix ulleres especials.

La pel·lícula ha estat produïda pel Centre de Recerques en Física de Plasmes, Escola Politècnica Federal de Lausana (Suïssa), amb finançament de la Direcció General de Recerca de la Comissió Europea. Digital Studios SA (París, França) ha creat numèricament la pel·lícula, sobre la base d'un disseny d'ITER fet amb ordinador.



---

8<sup>th</sup> ENERGY FILM  
FESTIVAL  
LAUSANNE 2001

Grand Prix  
du Festival



**Scénario**  
écrit et  
réalisé par

**Titre de**

**Réalisateur**

**Producteur**

**Co-producteur**

**The Steamers**

Laurent Luchmann, Paris, France

Patric Jean-Pierre, Lausanne, Suisse  
et Andrew Roth, Paris, France

Association Énergie Cinématographique Suisse  
(2001-2002), Lausanne, Suisse

Lausanne, le 20 Mars 2001

*Durant la presa de decisió sobre el programa específic de fusió, el Consell de Ministres europeu va declarar el següent:*

*“En la segona meitat d’aquest segle, l’energia de fusió podria contribuir a gran escala a la producció d’electricitat primària, lliure d’emissions. Els avenços fets en la recerca en energia de fusió justifiquen un esforç continu cap a l’objectiu a llarg termini de construcció d’una central d’energia de fusió”.*

*Aquest fullet descriu la recerca que es fa a Europa en energia de fusió, com també la seva coordinació i gestió. L’experiment de fusió de la generació següent, ITER, hauria d’aplanar el camí de la fusió a fi que, en la segona meitat del segle XXI, aquesta font contribueixi de manera significativa a la producció mundial d’energia.*

*La informació que s’ofereix en aquest fullet és un recull de la recerca duta a terme en el programa europeu de fusió.*

