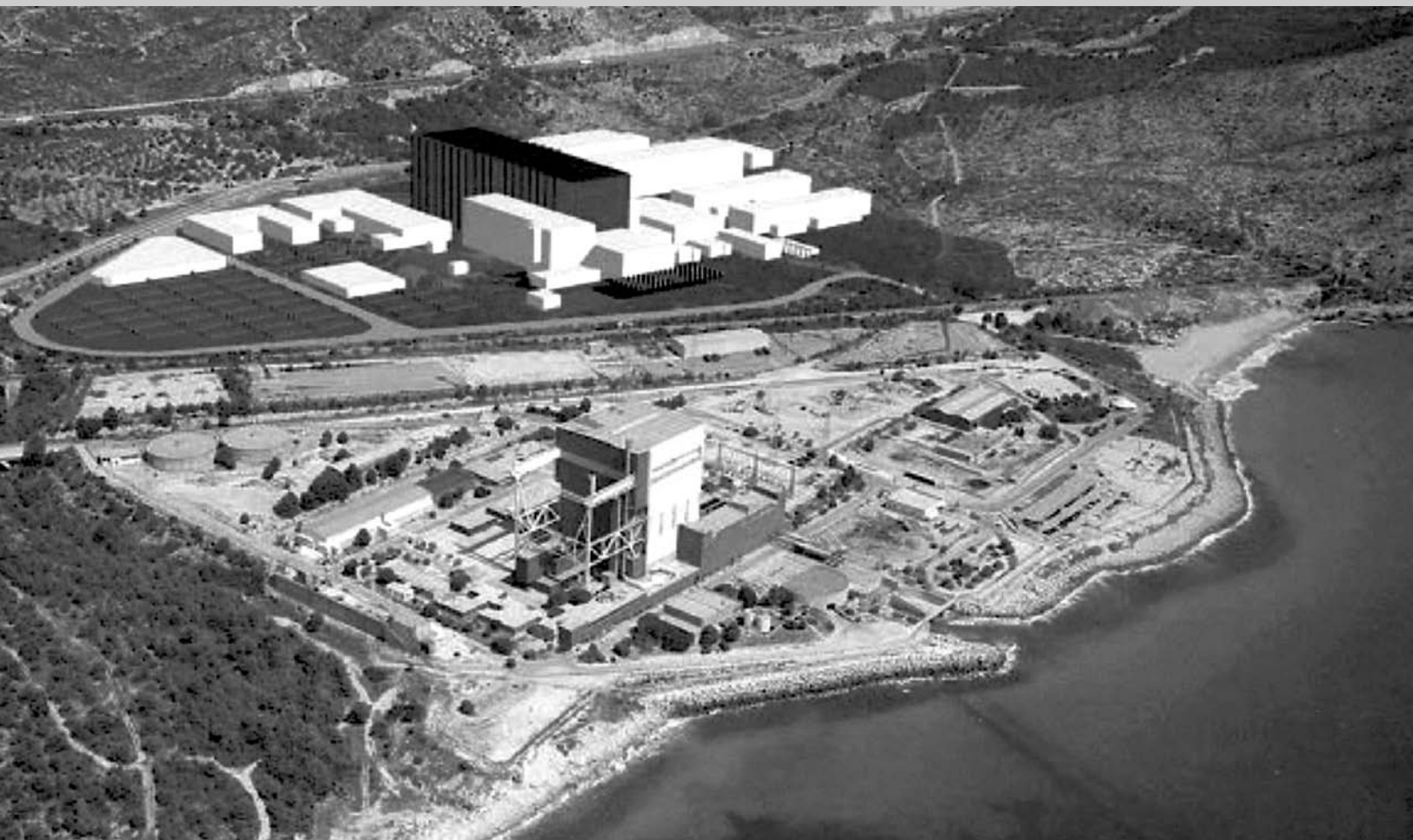


# La fusió nuclear i el



Ubicació proposada per al complex de recerca ITER al costat de la central nuclear Vandellòs II

WWW.FUSION.CIEMAT.ES

El projecte ITER és una empresa colossal que només pot portar-se a terme amb la cooperació de diferents països. El domini de la tecnologia de la fusió és un repte fascinant per a la ciència, així com una de les esperances per a la sostenibilitat energètica en el futur

## El panorama energètic mundial

L'era industrial que els països més rics van encetar el segle XIX i que els països més pobres just estan iniciant ha suposat l'adopció d'uns estils de vida fortament consumistes d'energia. En darrer terme, la major part dels processos quotidians actuals necessiten electricitat, calor o energia mecànica per efectuar-los i la demanda energètica no ha parat d'augmentar de manera vertiginosa en les darreres dècades.

La ciència ha estat capaç d'enginyar diversos procediments per tal de generar electricitat, però actualment en dominen tres: l'energia tèrmica de combustió de materials fòssils, l'energia nuclear de fissió i, en menor grau, l'energia hidràulica. Les energies renovables, com l'eòlica, la solar o de la biomassa són l'esperança per a un futur energètic

més sostenible, però ara per ara no poden proveir de prou potència elèctrica l'enorme demanda mundial. L'energia hidràulica està limitada per la disponibilitat de grans volums d'aigua així com per la potència màxima assolible, a banda dels problemes mediambientals que genera. D'altra banda, l'energia tèrmica, que proveeix els dos terços de la producció mundial d'electricitat, utilitza combustibles fòssils com carbó, petroli, o gas natural. Les centrals que en generen emeten grans quantitats de gasos contaminants que contribueixen a l'escalfament progressiu de la Terra (efecte hivernacle): diòxids de carboni, de sofre i de nitrogen.

Per últim, l'energia nuclear pateix diverses dificultats pel seu desenvolupament, en particular pel rebuig social

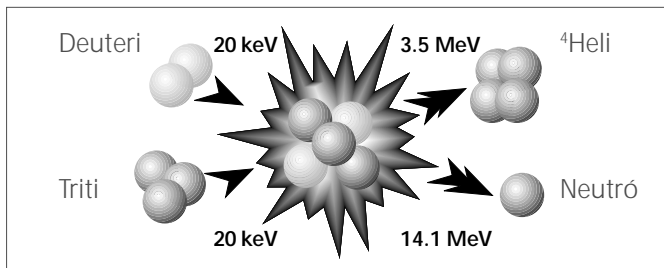
generalitzat, que ha portat a moratòries en la construcció de noves plantes de potència. A l'Estat espanyol hi existeix una moratòria nuclear des de 1984 i una paralització definitiva des de 1994; ara bé, Espanya importa energia elèctrica de França, un país altament nuclearitzat. El principal problema de les centrals nuclears és potser el de l'emmagatzematge dels residus radioactius d'alta activitat (combustible gastat i productes d'activació). Hem de ser conscients, a més, que tant les reserves d'urani com les de combustibles fòssils són limitades i no trigaran a esgotar-se. No obstant, des de fa mig segle es coneixen uns processos capaços d'alliberar energia en quantitats importants que s'anomenen reaccions de fusió nuclear. Aquestes utilitzen productes molt abundants i generen residus menys tòxics que en els casos anteriors.

# projecte ITER

TEXT:

Manel Tarés Lagunas, *físic*

## La recerca de noves fonts d'energia: la fusió nuclear



CONTEMPORARY PHYSICS EDUCATION PROJECT

### Reacció bàsica de fusió de dos nuclis d'hidrogen (deuteri i triti) que s'utilitzarà en el projecte ITER

Així com les reaccions de fissió nuclear (les que s'aprofiten en les actuals centrals nuclears) provoquen que un nucli pesant (com el d'urani) es trenqui en dues parts tot deixant anar una quantitat important d'energia, les reaccions de fusió es basen en la unió de dos nuclis atòmics molt lleugers per acabar formant-ne un de més pesant i alliberar encara més energia per cada gram de combustible (unes cent vegades més que en les reaccions de fissió de les centrals nuclears). Aquesta energia s'aprofita en part per vaporitzar aigua i moure les turbines i els generadors que proporcionaran finalment l'electricitat.

Malgrat que a la Terra els processos energètics naturals i artificials no es duen a terme a través de reaccions de fusió, aquest tipus d'energia és la predominant a l'Univers i concretament a l'interior de les estrelles. D'aquí ve l'apel·latiu d'*energia de les estrelles* amb què a voltes s'ha batejat la fusió nuclear. Les estrelles mitjanes, com el Sol, cremen nuclis d'hidrogen que es fusionen per donar heli i energia que es transfereix a la radiació lumínica que arriba a la Terra.

Per tal de crear reaccions de fusió a la Terra s'utilitzen com a combustibles dues espècies d'hidrogen: el deuteri i el triti. El primer s'obté de l'aigua i el segon no existeix en forma natural i s'ha de produir artificialment a partir de liti, també molt abundant. Els productes de la reacció són heli i

un neutró molt energètic. L'heli (cendres de fusió) ha de ser capaç de mantenir la temperatura de la mescla de combustibles (plasma) i s'ha d'extreure de la cambra de combustió com a residu gasós, mentre que el neutró s'utilitza per obtenir més triti amb el qual s'alimenta de nou la reacció. Per fer-ho, la cambra de combustió ha de contenir una capa fèrtil de liti, que en reaccionar amb els neutrons de fusió es transformarà en triti. A més, com que aquesta capa de liti frena els neutrons, escalfa el refrigerant que circula per l'interior i que, en forma de vapor, acabarà incidint en les turbines per produir electricitat.

Ara bé, s'ha de considerar que per aconseguir fusionar dos nuclis calen energies molt altes, per tal de vèncer la forta repulsió elèctrica dels nuclis. Això implica que s'han de calentar els combustibles a temperatures elevadíssimes, de l'ordre de cent milions de graus. En aquest règim, la matèria es troba en un altre estat anomenat plasma, i no hi ha cap material que pugui contenir en el seu interior aquests valors formidables de temperatura. Existeixen dues vies per mantenir el plasma (la tercera és la via gravitacional de les estrelles, impossible d'assolir a la Terra): el confinament magnètic, en què camps magnètics creats per enormes imants atrapen el plasma en un volum determinat, i el confinament inercial, en què es com-  
primeix fins al màxim, mitjan-

çant làsers d'alta potència o feixos iònics, una petita gota de combustible fins que fusiona i s'estén. Aquest darrer sistema de confinament no ha avançat gaire a causa del fort secretisme militar de les investigacions que no ha permès compartir la informació a nivell internacional. Actualment, el millor sistema de confinament del plasma és el *tokamak*, un dispositiu de confinament magnètic en forma de donut i envoltat d'imants

que retenen el plasma calent en el seu interior.

Per tal de calentar el gas del reactor i portar-lo a l'estat de plasma s'utilitzen diversos mètodes amb corrents elèctrics elevats i amb radiofreqüències i microones d'alta potència. Els combustibles hi són injectats a gran velocitat. Un cop s'assoleix la condició de fusió, l'heli produït manté la temperatura del plasma als nivells requerits.

## Radioactivitat, seguretat i impacte ambiental

En algunes ocasions s'ha dit que la fusió nuclear és una energia completament neta en el sentit de no utilitzar ni produir productes radioactius. Això no és del tot cert, ja que dels elements de combustible, el deuteri és estable, però en canvi el triti és radioactiu, tot i que la seva vida mitjana és relativament curta (poc més de dotze anys, enfront dels milions d'anys de l'urani-235 emprat en les centrals nuclears de fissió) i, a més, se'l produeix dintre del reactor a partir de liti (no radioactiu). El triti està classificat com a isòtop de baixa radiotoxicitat. A banda, els neutrons produïts són partícules d'alta energia capaces d'activar els materials de l'estructura, és a dir, els excita i els modifica en materials radioactius. Això es pot alleugerir molt amb una bona tria dels materials (nous acers, aliatges i ceràmiques). Es pot considerar, per tant, que l'activació per neutrons no és pas massa diferent de la que es produeix en les centrals nuclears convencionals.

Ara bé, en comparació amb aquestes darreres, els reactors de fusió generen molt menys residus radioactius, i cap d'ells és de llarga vida (a diferència dels residus de les centrals nuclears de fissió, que tenen una vida molt llarga, en especial el combustible gastat). En conseqüència, el seu impacte ambiental pel que fa aquest aspecte és molt reduït. En el cas de l'ITER, però, caldrà considerar els processos auxiliars de fabricació de triti. En un futur, seria interessant utilitzar altres reaccions nuclears de fusió que ara per ara no són assolibles, com la que utilitzaria només deuteri o la que té per combustibles deuteri i heli-3 (escàs a la Terra, però abundant a la Lluna) i no produeix neutrons.

Potser el gran avantatge que presenten els reactors de fusió davant dels de fissió sigui la seva seguretat intrínseca, que rau en la gran facilitat d'aturar el procés de fusió amb una simple desestabilització del plasma. Aleshores, els possibles danys d'un succés fortuït afectarien únicament l'interior del recinte. Per aquesta raó, els estudis previs de seguretat de l'ITER han portat a considerar la regió que envoltarà la instal·lació com una zona de no evacuació en cas d'accident. Malgrat tots aquests aspectes favorables que presenta la fusió, actualment subsisteixen encara molts problemes tècnics que caldrà resoldre per assolir una producció econòmicament viable. Aquest pas intermediari és el que representa el projecte ITER.

## El projecte ITER

La recerca per desenvolupar reactors de fusió viables es va consolidar durant els anys setanta i vuitanta del segle passat, fins que a principis dels noranta es van obtenir els primers resultats satisfactoris en la producció de potències de l'ordre de 10 a 30 MW. Un cop s'ha demostrat que la fusió dels nuclis es pot portar a terme, el següent pas és el de demostrar la producció d'electricitat a escala industrial i el de comprovar i millorar un conjunt d'aspectes tècnics (imants, materials estructurals, generació de triti, estabilitat del plasma, acceleració dels feixos neutres de combustible, sistemes d'alt buit i bombeig, diagnòstics, etc.) que han de conduir a incrementar l'eficiència del procés, una seguretat òptima i un impacte mínim sobre l'entorn ambiental. Aquest projecte se l'ha batejat amb el nom d'International Thermonuclear Experimental Reactor (ITER) o Reactor Termonuclear Experimental Internacional. Es tracta, per tant, d'un projecte d'investigació científica aplicada.

El projecte ITER ha estat fruit de la col·laboració internacional entre la Unió Europea, el Japó, Rússia i els Estats Units, als quals s'hi va unir el Canadà, i més endavant la Xina i Corea del Sud. La fase de disseny va començar el 1992 i es va enllestir el 2001. Actualment

quatre emplaçaments opten per allotjar les instal·lacions de l'ITER: Vandellòs, Cadarache (França), Clarington (Canadà) i Rokkasho (Japó). La Unió Europea ha de decidir a finals d'aquest mes de novembre quin candidat presenta dels dos que hi opten. Finalment, el consorci internacional haurà de triar l'emplaçament definitiu a finals d'any o a principis del vinent. Aquest correspondrà a aquella ubicació que reuneixi unes condicions òptimes en diversos aspectes que inclouen característiques geològiques i sísmiques, infraestructures de transport i de subministraments, teixit científic i industrial important i possibilitats diverses per als treballadors del projecte.

El cost de la construcció serà de 3,8 mil milions d'euros. El recinte ocuparà quaranta hectàrees i contindrà la cambra del reactor amb els electroimants gegants, instal·lacions de subministrament elèctric i de tractament del triti i altres edificis auxiliars. El reactor de l'ITER serà un *tokamak*, en el qual s'intentarà assolir temps de combustió de 400 segons amb una producció d'energia deu cops més gran a la que s'injecta perquè funcioni. La construcció de la instal·lació es preveu que durarà nou anys i el període d'operació serà d'uns vint anys.

## Valoració final

El projecte ITER és doncs una empresa colossal que només pot portar-se a terme amb la cooperació de diferents països. El domini de la tecnologia de la fusió és un repte fascinant per a la ciència, així com una de les esperances per a la sostenibilitat energètica en el futur. Els experiments que es portaran a cap a l'ITER, sigui on sigui el seu emplaçament final, hauran de demostrar la viabilitat econòmica de la fusió, basada sobretot en obtenir l'anomenada condició d'ignició, és a dir, que la combustió del plasma es pugui mantenir per si mateixa. No obstant això, caldrà esperar fins almenys l'any 2050 perquè els reactors de fusió comencin a convertir-se en l'alternativa forta a la producció d'energia mitjançant combustibles fòssils (carbó, petroli i gas natural). Mentrestant, caldrà apostar pel desenvolupament d'energies renovables localitzades (solar, eòlica, biomassa), per la millora de l'eficiència dels processos i per un compromís ferm en disminuir l'actual consum i malbaratament d'energia.

En el cas que Vandellòs esdevingui la seu definitiva de l'ITER, l'impacte sobre el territori, no només immediat, sinó també a nivell de Catalunya, serà enorme. Darrere la construcció del recinte existeixen moltes oportunitats de negoci, directes i indirectes, i perspectives de treball en tots els quadres. Ara bé, les conseqüències socials que se'n derivaran poden ser de magnitud considerable i encetaran una nova etapa en la història de les nostres comarques. La instal·lació de l'ITER a Vandellòs és una gran oportunitat, però a la vegada convé que les polítiques públiques d'ordenació racional del territori, tant a nivell local com regional, arribin a temps en un espai ja a hores d'ara prou fràgil. L'impacte sobre el territori pot ser superior a la instal·lació de les centrals nuclears i en termes urbanístics pot traduir-se en un augment del sòl edificat a la costa. A tot això cal afegir-hi que el territori tarragoní no té encara unes infraestructures de transport prou adequades i que, a pesar que la nostra societat és força tecnificada, la cultura científica formal i la comprensió holística de la humanitat són paradoxalment encara força pobres. És en aquest context, doncs, en què cal valorar la possible implantació de l'ITER a Vandellòs, i, per tant, s'hauran d'invertir grans esforços per no deixar perdre aquest projecte històric, però també per no deixar perdre el territori i la societat que l'hauran d'acollir.

### ITER

Per saber-ne més

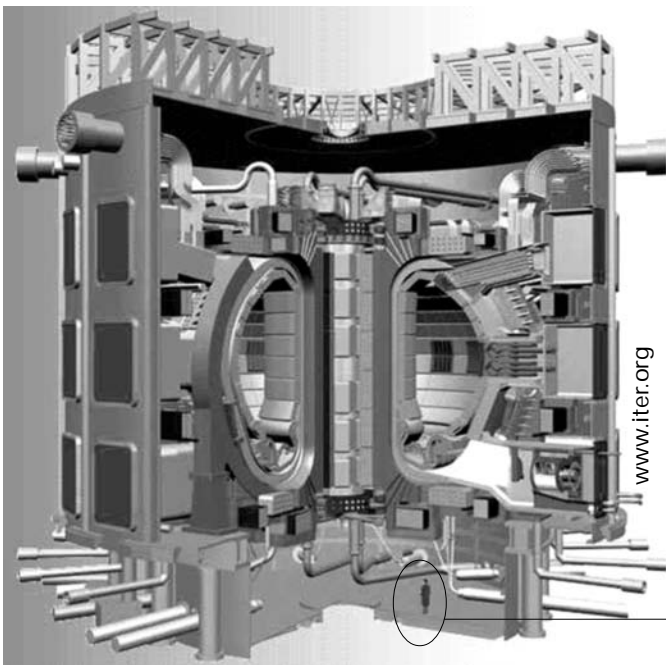
#### Llibres:

Il·lustre Colegio Oficial de Físicos: *Origen y gestión de residuos radiactivos* (3a edició). ENRESA. Madrid, 2000. Existeix versió electrònica gratuïta obtenible des de la *web* <[www.cofis.es](http://www.cofis.es)>.

TAGLE, José Antonio: *La fusión nuclear*. Editorial Debate. Madrid, 1995.

#### Pàgines web:

[www.iter.org](http://www.iter.org)  
[www.fusion.ciemat.es/fusion/Intro/Intro.html](http://www.fusion.ciemat.es/fusion/Intro/Intro.html)  
[www.efda.org](http://www.efda.org)  
[www.fusion.org.uk](http://www.fusion.org.uk)  
[www-fusion-magnetique.cea.fr](http://www-fusion-magnetique.cea.fr)



Il·lustració del reactor de fusió de l'ITER

Alçada d'una persona