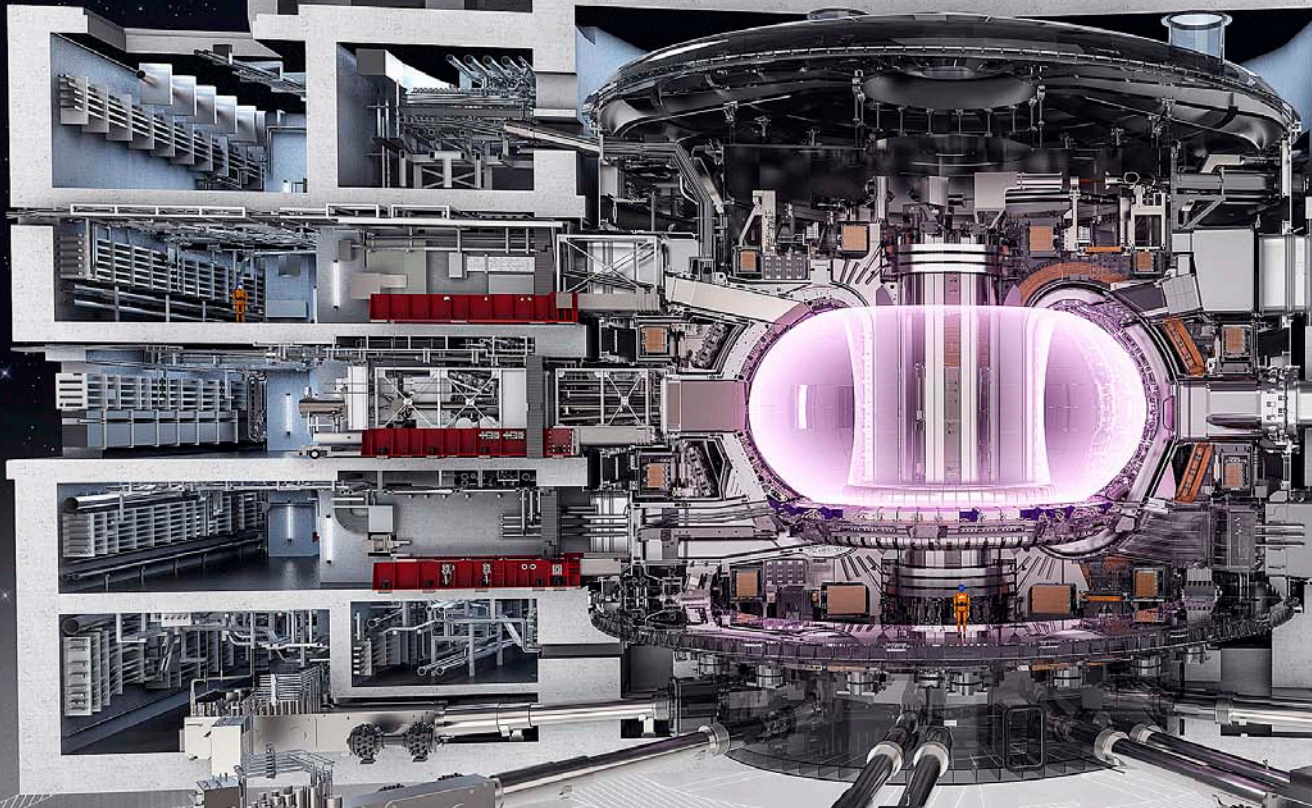


Recreació de l'ITER, el reactor experimental que s'està construint al sud de França.



ITER IO

Fabricant un petit sol a la Terra

L'energia que fa funcionar les estrelles i les naus d'«Star Trek» ja és a prop. La UE és el soci principal d'un projecte internacional per construir l'ITER, un reactor experimental que posarà les bases tecnològiques perquè, a mitjan segle, puguem obtenir una energia neta i il·limitada a través de la fusió.

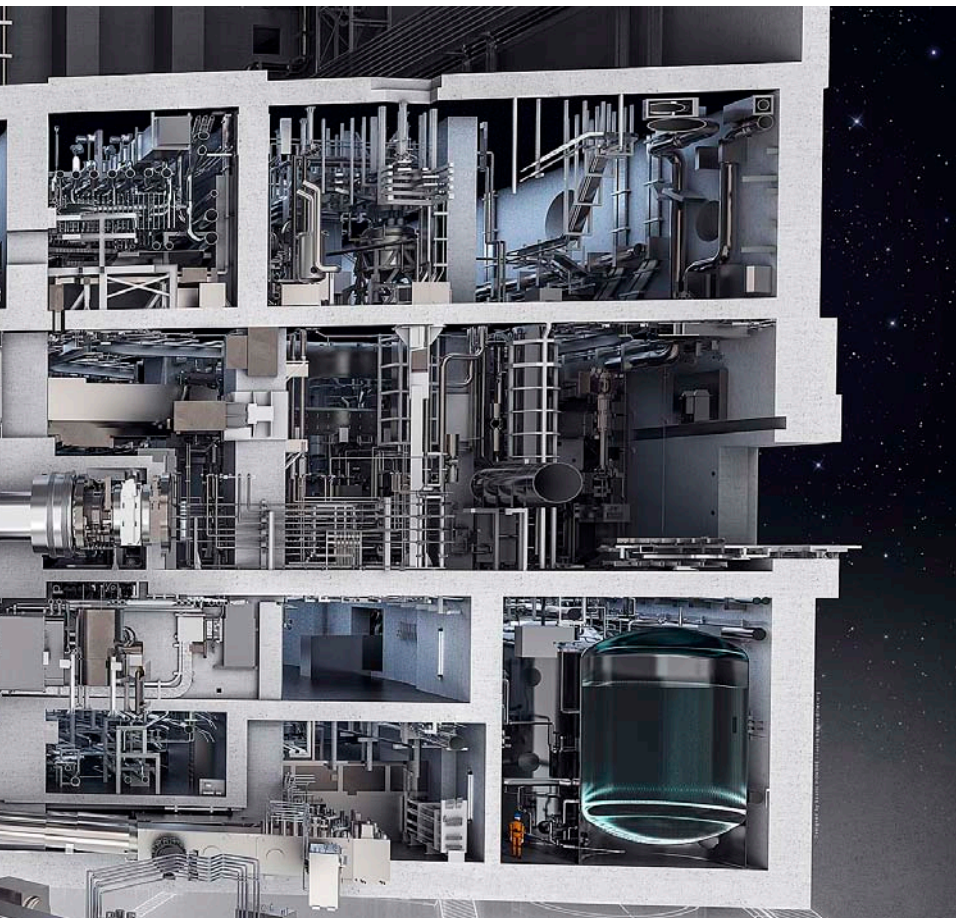
Fusion for Energy, amb seu a Barcelona, és l'organització que gestiona la participació europea del projecte.

Reportatge d'Àstrid Bierge

Amb l'augment de la població i la industrialització dels països en vies de desenvolupament, es preveu que durant els propers 50 anys el consum energètic incrementi dràsticament. Actualment, el 80% de l'energia produïda s'obté a través dels

combustibles fòssils, és a dir, del petroli, el carbó i el gas. Davant les lesions mediambientals que produeix l'alliberament de CO₂, resulta imprescindible trobar noves fonts d'energia que respectin el nostre planeta. Les renovables –solar, eòlica i hidràulica– són netes però d'eficiència

i aplicació limitades. L'energia nuclear actual, que es fa a través de la fissió, és molt eficient però necessita elements que són molt escassos i genera residus que es mantenen radioactius durant segles. A més, quan aquestes centrals fallen, ja sabem tots el que passa.



I si poguéssim aconseguir una energia respectuosa amb el medi ambient, generada amb un combustible abundant i extremadament eficient i produïda en una infraestructura inherentment segura? Un total de 35 països estan invertint milers de milions d'euros perquè a mitjan segle ho puguem aconseguir.

La ciència del projecte es basa en la tecnologia de la natura, a la qual els científics recorren sovint per trobar solucions als nostres reptes. El Sol és molt gran, però quina superpoderosa *llenya* fa que hagi pogut cremar d'ençà d'uns 4.500 milions d'anys i que pugui continuar-ho fent durant 5.000 milions d'anys més? Hi ha altres estrelles que encara són més antigues i d'altres que duraran més que la nostra, i totes funcionen amb la mateixa font d'energia: la fusió.

Per entendre aquest fenomen físic cal tenir en compte, primer, que els àtoms mai no estan en repòs i que com més s'escalfen més ràpid es mouen. Al nucli del Sol, on la temperatura s'eleva a 15 milions

de graus, els àtoms d'hidrogen van com bojos, movent-se a tota velocitat i xocant els uns contra els altres. En condicions menys dràstiques, els nuclis dels àtoms es repel·leixen entre ells perquè tots contenen protons, que són de càrrega positiva. Però les salvatges velocitats i inèrcies que es produeixen al centre de les estrelles vencen aquesta repulsió i fan que els nuclis es fusionin. Quan dos nuclis d'hidrogen s'uneixen, formen un nucli més pesant: l'heli. Té sentit, l'hidrogen és el primer element de la taula periòdica perquè té un protó, i l'heli és el segon perquè en té dos. A les estrelles que són més grans que el Sol, la reacció continua i la fusió d'àtoms pot crear elements cada cop més pesants, fins a arribar al ferro, que té 26 protons. Perquè es creïn elements encara més grans, com l'urani, ja cal que hi hagi una supernova –l'explosió d'una estrella molt massiva– i el procés pel qual es creen és més complex. En qualsevol cas, tot el que veiem i tot el que ens compon ho han fabricat les estrelles.

I tornem on érem, al nucli del Sol. El combustible és l'hidrogen, però d'on ve l'energia? Resulta que el nucli nouat d'heli té un pèl menys de massa que la suma dels dos nuclis originaris d'hidrogen. D'acord amb el fenomen físic descrit per la famosa equació d'Einstein, $E=mc^2$, si d'una banda es perd matèria –encara que sigui una quantitat irrisòria–, de l'altra es guanya una quantitat ingent d'energia. Cada segon el Sol converteix 600 milions de tones d'hidrogen en heli, i això fa que esdevingui una planta de producció energètica colossal.

Fusió terrícola

Com poden imaginar, reproduir aquest procés a la Terra és molt complicat. L'asfixiant pressió gravitacional que hi ha al nucli del Sol permet que la fusió dels nuclis dels àtoms pugui succeir a *només* 15 milions de graus. Aquí no podem replicar aquesta pressió i, per tant, si volem generar fusió, cal multiplicar per 10 la temperatura del motor solar. Només així les partícules podran moure's prou ràpid i xocar amb prou força. A banda del repte tècnic que suposa escalfar fins a tal punt una determinada quantitat de matèria, cal tenir en compte que si aquesta matèria toca les parets del seu contenidor, es refredarà i no podrà haver-hi fusió. Perquè mantingui la temperatura cal que estigui flotant, sense tocar res. Durant els anys 50 els russos van trobar una solució i van construir el primer *tokamak*, una cambra amb forma d'anel·la que manté la substància separada de les parets del recipient gràcies a la força magnètica.

Pot semblar estrany que un camp magnètic pugui influir un gas i fer-lo levitar, però és que la substància que es fusiona dins d'un *tokamak* –i dins les estrelles– no és gas, és plasma. Encara que els tres estats de la matèria més famosos siguin el sòlid, el líquid i el gasós, més del 99% de la matèria de l'univers no és cap d'aquestes tres coses. És plasma, conegut com el quart estat de la matèria. Si bé en els sòlids, líquids i gasos hi ha una relació molt estreta entre els nuclis dels àtoms i els electrons que els orbiten, al plasma els electrons han estat arrencats dels seus àtoms i van per lliure. Les partícules del plasma, doncs, no són neutres, tenen càrrega elèctrica. D'una banda hi ha els electrons, de càrrega negativa. De l'altra hi ha els nuclis, que te-

F4E, amb seu a Barcelona, és l'organització que gestiona la part europea del projecte internacional ITER. Aquí, uns tècnics de F4E analitzen per ordinador components de l'ITER.

→ nen una càrrega positiva a causa dels protons –els neutrons són neutres. Com que el plasma està fet de partícules amb càrrega elèctrica, és fortament influenciable pels camps elèctrics i magnètics. És per això que dins d'un *tokamak*, un camp magnètic és capaç d'evitar que el plasma toqui les parets. Per tant no perd temperatura i la fusió esdevé possible.

Això es fa des dels anys 50 i es continua fent actualment. De moment, el Joint European Torus (JET), ubicat al Regne Unit, és el *tokamak* més avançat del món. La mala notícia és que l'energia que cal per fer funcionar aquestes màquines experimentals és més gran que l'energia que produeixen, i per tant en termes pràctics són un molt mal negoci. La bona notícia és que, des del 2010, ja s'està construint el que serà el primer *tokamak* amb un balanç energètic positiu. Es diu Reactor Experimental Termonuclear Internacional –ITER, que en llatí vol dir 'camí' – i s'està fent al municipi occità de Sant Pau de Durènça, a prop de Marsella.

L'ITER serà 30 vegades més potent que el JET, i produirà fins a deu vegades més energia que la necessària per mantenir el plasma a 150 milions de graus. Ara bé, no s'arribarà a connectar mai a la xarxa elèctrica. No servirà per proveir-nos d'energia, és un experiment per poder arribar a construir veritables centrals que produeixin energia a través de la fusió. Segons els plans, les proves començaran el 2025 i s'allargaran durant un període de 20 anys. Durant aquest temps els científics podran posar a prova el comportament físic del plasma i els components que conformen la infraestructura, com els sistemes d'escalfament, control, diagnòstic i manteniment. Paral·lelament i en funció dels resultats, s'anirà desenvolupant la tecnologia que cal per fer centrals elèctriques comercials.

Aquest projecte internacional està format per la UE, la Xina, el Japó, l'Índia, Corea del Sud, la Federació Russa i els Estats Units, uns socis que representen el 50% de la població mundial i el 80% del PIB. La UE

s'encarregarà de construir quasi la meitat dels components d'ITER i els altres socis s'han repartit la feina a parts iguals. Fusion for Energy (F4E) és l'organisme encarregat de la contribució de la UE al projecte ITER. Una de les seves tasques principals és treballar conjuntament amb la indústria europea, les petites i mitjanes empreses i les organitzacions de recerca per desenvolupar i oferir una àmplia gamma de components d'alta tecnologia, així com serveis de manteniment i suport per al projecte. És a dir, que la major part de la feina està externalitzada, l'està fent la indústria local i els centres de recerca que guanyen les llicències a través de concursos competitius. F4E, que té seu a Barcelona, s'encarrega d'adjudicar aquests contractes i de fer el seguiment del desenvolupament dels components encarregats. En total s'acabaran signant més de 500 contractes, i de fet aquest juliol dues empreses catalanes han aconseguit contractes amb F4E. Es tracta del Grup GTD –especialitzat en sistemes d'integració– i ASE Optics Europe –experts en el camp de l'enginyeria òptica. Han aconseguit un pressupost de 5 milions d'euros i de 260.000 euros respectivament.

A banda de gestionar el pressupost europeu del projecte i concedir els contractes, F4E també dona suport a les iniciatives d'I+D sobre fusió a través de

l'anomenat Broader Approach, signat amb el Japó. A més, es prepara per a la construcció de reactors de fusió de demostració (DEMO), que seran els que sí que aniran connectats a la xarxa elèctrica. El *tokamak* de l'ITER, que farà 24 metres d'alçada i 30 d'ample, podrà produir 500 megawatts d'energia tèrmica, que és una barbaritat tenint en compte que només utilitzarà unes desenes de grams de combustible. Els DEMO podran produir 1.000 megawatts d'energia elèctrica, una potència que podrà alimentar una ciutat de mig milió d'habitants.

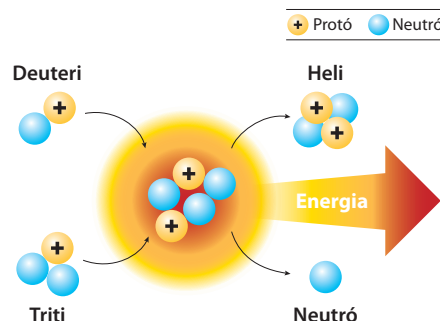
Dins del 'tokamak'

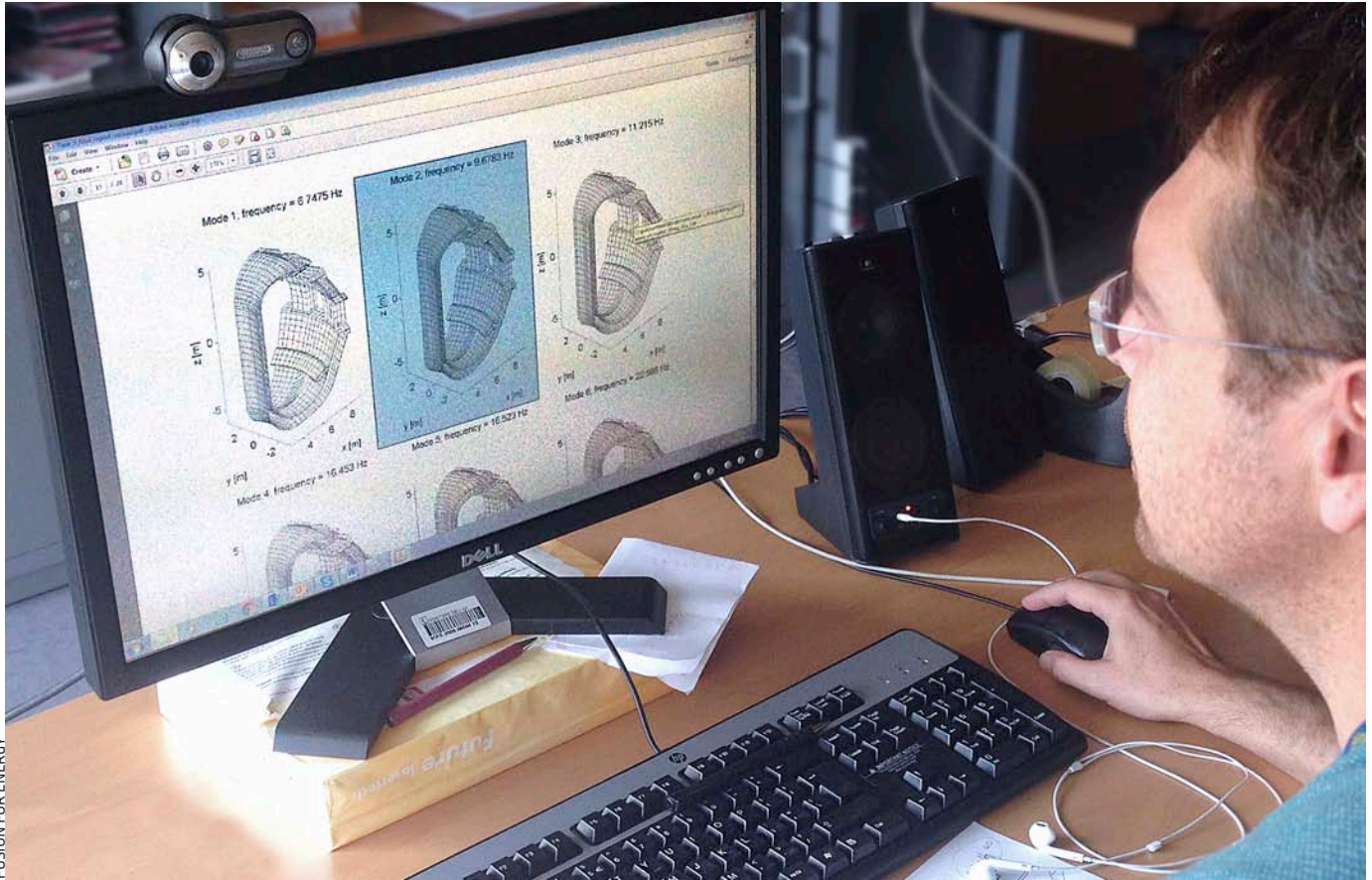
La manera més fàcil d'aconseguir la fusió és amb la reacció de dos isòtops de l'hidrogen: el deuteri i el triti. Els isòtops són versions diferents d'un àtom del mateix element que vénen donades segons el nombre de neutrons del nucli. Per entendre-ho, cal tenir en compte que allò que defineix un element i el diferencia dels altres és el nombre de protons que té. El nucli d'un àtom d'hidrogen té un protó i no té cap neutró. El deuteri i el triti també tenen un sol protó, però en canvi tenen un i dos neutrons respectivament. Són, doncs, isòtops de l'hidrogen. I seran el combustible de l'ITER i dels futurs *tokamaks*. El deuteri és molt abundant, es pot extreure de l'aigua de mar. El triti, en canvi, és extremadament escàs a la natura, s'estima que només n'hi ha uns 20 quilos a tot el món. Les futures centrals hauran de produir el seu propi triti dins del mateix *tokamak*, i ho faran a partir de liti, que és un element lleuger i abundant com el plom.

La part del *tokamak* on es produirà la fusió és una cambra tancada al buit que té forma de donut. El primer pas serà injectar deuteri i triti en estat gasós dins d'aquesta cambra. Aquest gas només pesarà 130 grams però omplirà un terç del volum d'una piscina olímpica, uns 800m3. Aplicant-hi un corrent elèctric, es generarà un voltatge capaç d'arrencar els electrons dels àtoms de deuteri i triti.

Fusió nuclear

Dins del reactor de l'ITER, la fusió dels nuclis dels àtoms de deuteri i de triti produirà nuclis d'heli i neutrons altament energètics. L'enorme quantitat d'energia després en la fusió es podrà aprofitar per generar energia elèctrica.





FUSION FOR ENERGY

Com hem explicat, quan els electrons i els nuclis van per lliure, la matèria deixa de ser sòlida, líquida o gasosa i passa a ser plasma. Aquest plasma, recordem, flotarà entre les parets sense tocar-les gràcies a una "barrera" magnètica.

Les col·lisions entre les partícules faran que la temperatura del plasma pugi fins als 10 milions de graus, que no és prou perquè hi hagi fusió nuclear. Per fer-la augmentar, es dispararan ones a diferents freqüències i feixos de deuteri descarregats a gran velocitat. Ara sí, el plasma assolirà una temperatura d'entre 150 i 200 milions de graus. Com es pot veure en la il·lustració, la fusió entre els nuclis dels àtoms de deuteri i de triti produirà dues coses: nuclis d'heli i neutrons altament energètics. Els nuclis d'heli tindran una càrrega elèctrica –donada pels protons– i per tant estaran subjectes a la influència del camp magnètic. No podran sortir d'aquella barrera i la seva energia contribuirà a mantenir el plasma prou calent. Però, és clar, si volem aprofitar l'energia que ha produït la fusió, bé l'haurérem de treure d'allà d'alguna manera. El 80% d'aquesta energia serà transportada

fora de la cambra a través dels neutrons, que no tenen càrrega elèctrica i per tant són immunes al magnetisme. Aquests neutrons lliures i molt energètics seran absorbits per les parets del *tokamak*, que passaran a estar molt calentes. Un cop tenim calor, fer electricitat és bufar i fer ampolles. Es produirà com s'ha fet tota la vida: la calor escalfarà aigua, el vapor mourà turbines i un generador convertirà l'energia mecànica en energia elèctrica.

Energia neta i il·limitada

Només calen 150 quilos de deuteri i 2 o 3 tones de liti –d'on sortirà el triti– per alimentar energèticament un milió de persones en un any. En un gram d'aquest combustible hi ha la mateixa energia potencial que en 11 tones de carbó. La densitat de potència de la fusió és milions de cops superior a la de les reaccions químiques de la crema de carbó, petroli i gas. I quadruplica la de la fissió de les centrals nuclears actuals.

A més, l'energia no s'obindrà a través de la combustió fòssil i per tant no alliberarà CO_2 . Com hem dit, la fissió tampoc no n'allibera, però presenta desavantatges

importants. La fissió, en comptes d'unir nuclis, els divideix. Per tant, requereix elements molt pesants, amb molts protons. L'urani utilitzat a les centrals nuclears no només és escàs sinó que també esdevé altament radioactiu, i obliga a construir cementiris nuclears per enterrar substàncies que seran tòxiques durant uns mil anys. Si bé el triti també és radioactiu, aquests efectes només duren uns anys. A més, se n'utilitzarà en tan poques quantitats que, en cas de fuga, les conseqüències seran negligibles. Tampoc hi ha perill d'un accident nuclear, perquè qualsevol mal funcionament en el *tokamak* faria que el reactor es refredés en pocs segons, i per tant la fusió, que necessita temperatures altíssimes, ja no podria succeir.

És tan perfecte que les naus d'*Star Trek* funcionen amb fusió. Això sí, encara haurérem d'esperar fins a la dècada dels 50 per poder gaudir d'aquesta energia neta i il·limitada. Des del primer *tokamak* haurem trigat un segle a treure'n algun rèdit, però els beneficis que ens comportarà el fet de tenir petites estrelles arreu de la Terra, sens dubte, hauran valgut el temps d'espera. ●