

LURREAN EGUZKIA ERAIKI

Fusio nuklearrerako ITER instalazioa, klima salbatzeko promesaren energia

 **ZIENTZIA /** Mikel Zubimendi Berastegi

Fusio nuklearra errealitate bat da. Mundua goitik behera aldatzeko potentziala daukan errealitatea. Hemarkadetan energia eta klima mailako desafioen soluzio bezala aurkeztu da. Bada, hori ala izango ala ez erakutsiko duen fusio nuklearreko instalazioaren azken muntaia hasi da, eta bere bideragarritasunaren inguruan dauden galderak, azkenean, erantzun ahal izango dira.

Munduko zientzia proiektu handiena dela esan dute, inoiz izan den makina konplexuena, historiako anbizio handieneko injenieritza balentria. Baina energia eta klima mailako arazoen soluzioaren promesa altzoan dakarren tekno-

logia honen neurrigabetasuna eta zailtasuna ez dira koska bakarra.

Ahalegin harrigarri honen izena ITER instalazioa da (ingelesezko *International Thermonuclear Experimental Reactor*), eta Marseilla ondoan dagoen Cadarachen hasi zen eraikitzen megaproiektua. Ha-

markada askotan zehar, fusio nuklearra botilatik atera nahi ez zuen eta mirariak egiteari uko egiten zion jenioa izan da. Orain, Proventzako txoko haietan sueto eta libre dabil, elektrizitatea sortzeko modu berria bereganatuta, atomoen banaketan oinarritzen den fisioaren, hau da, zentral nukle-

Munduko makina konplexuena den ITER instalazioaren irudia.
GAUR8

arrek baliatzen duten fisioaren, oso bestelakoa den ikuspegiarekin. Izan ere, fusio nuklearrak izugarriak diren bero eta presioak erabiliz, atomoak batzen ditu. Eta hori egitera koan, teoriar gutxienez, fusioaren prozesuan beharko litza-tekeena baino energia askoz ere gehiago ekoizten du.

ITER instalazioaren erregaia funtsean hidrogenoa izango da, mundu osoan ia nahi beste eskuragarri dagoena. Eta fisioaren zentral nuklearretan ez bezala, desagertzea oso zaila den material erradioaktibo oso gutxi sortuko lituzke. Bai, abantaila eta promesa ederrak dauzkan ahalegina da.

BAIKORTASUNA NAGUSI

Arreta merezi duen proiektua da, bai, larrialdi klimatikoaren soluzioak gehiegi berandutu direlako. Ohiko erregai fosilak, ikatza barne, ez dira behar zen abiaduran desagertu eta beraien ordeaz haizea eta eguzkia bezalako energia berriztagarriak ezartzea, oraindik ere, desafio bat besterik ez da. Gainera, zentral nuklear konbentzionalak desagertzeko aukera emate hutsa, Txernobyl eta Fukushima gogorarazten diguten bezala, esperantzarako arrazoia da.

Zientzialarien artean, eta baita inbertsoreen artean ere, kontsentsu handia dago ITER proiektua energia sortzeko gai izango den inguruan. Besterik da energia hori industrializatua izateko bezain sinple eta efizientea izango den. Baina munduak jakin behar du horrelako teknologia bat eskuragarri dagoen edo ez, bere energia hornidura bermatzen lagundu dezakeelako, denbora luze-luze baterako, betirako agian.

Instalazio erraldoiaren erai-



kuntzak zientzia eta ingeniari-tzaren maila goreneko aplikazioa eskatzen du. Piezaz pieza, denbora lineal bat eraikitzea denbora lineal korapilatsu batean, erloju suitzar baten zehaztasunez.

Hartara, bestela ezinezkoa zelako, ITER nazioarteko ahalegina izan da, orain arte behintzat pandemiari eta mundu mailako tentsio politikoei nahiko ongi eutsi diena. 135 herrialde ditu bazkide, horien artean, AEBak, Errusia, Txina, Europar Batasuna, Japonia, India eta Hego Korea. Eta modu batean ala bestean, nazioarteko beste zientzia ahalegin komunaren arrastoari segitzen dio, Nazioarteko Espazio Estazioa edo Giza Genomaren proiektua kasu.

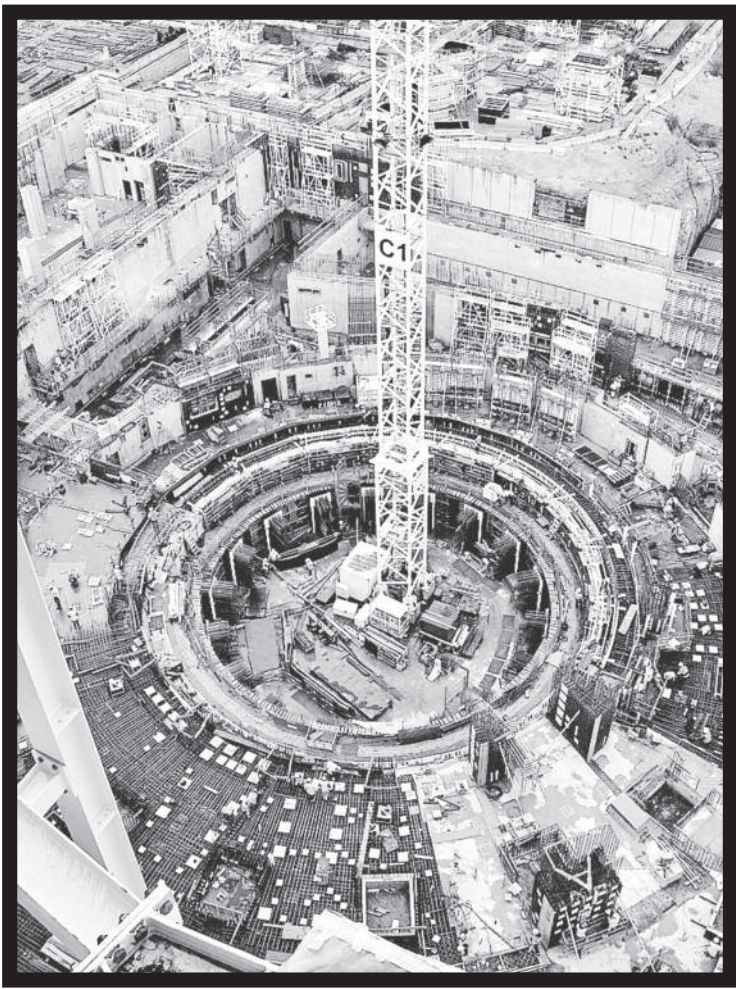
FISIKA ESPERIMENTU ERRALDOIA

Fusio nuklearraren funtsezko funtsak aletzea komeni da hemen. Hidrogenoaren atomoak presio eta bero handi-handian jartzea inplikatzeko du, helioaren atomoetan fusionatzen diren arte. Hau da, hidrogenoan aurkitu daitezkeen deuterioaren eta tritioaren nukleoak fusionatzean helioaren nukleo bat sortzen dute, neutroi bat eta energia ikaragarri bat. Erregaia 150 milioi gradura berotuz, plasma bero bat sortzeraino.

Eremu magnetiko indartsu batzuk erabiltzen dira plasma paretetatik urrunduta edukitzeko, hoztu ez dadin eta bere energia potentziala gal ez dezan. Eremu magnetikook ontzia inguratzen duten bobina super-eroaleen eta plasmarekin bultzatzen den korrante elektriko batzuen bidez sortzen dira. Izan ere, energia sortu dadin, fusioa emateko behar den denboran konfinatua egon behar da plasma.

Maila goreneko zientziaren eta ingeniartzaren aplikazioa eskatzen du. Piezaz pieza, denbora lineal korapilatsuan puzzle tridimentsional bat eraikitzea, erloju suitzar baten zehaztasunez

Hidrogenoan diren deuterioaren eta tritioaren nukleoak fusionatzean helioa, energia, sortzen da. 150 milioi gradura berotutako plasma bat, partikula subatomikoen zopa gaseoso



Garabiak, ITER instalazioaren bihotza den Tokamak ganbera eraikitzen. GAUR8

Fisika esperimendu erraldoia da, izugarri garesti eta konplexua. Baina ITER arrakastatsua bada, etorkizuneko energia instalazioen nolakotasuna definitzeaz gain, gure planeta berotzen duten emisioak ia desagertzearainoko ekarpena egin dezake. Desagertu, guztiz desagertu ez, baina beldurgarri gutxitu, bai.

Aspaldiko ametsa da, orain artean egia egin ez arren, amets zoragarri izaten jarraitu duena. Errealitatearen azterketa pasatu behar izan ez duen ametsa. Hori da dena: eguzkian ematen den erreakzio atomikoa beste eskala batean kopiatzea. Ez, hobe esanda, kopiatzea baino, kontrolatzea. Teknikoki hitz eginda, eguzki

txiki bat lurrean eraikitzea. Edo bestela esanda, elektrizitate garbi eta mugagabea helburu, erabateko urratsa, erabakigarria erabat.

Baina, argi, ITER instalazioak beroa ekoiztuko du, ez elektrizitatea. Eta, jakina, kontsumitzen duena baino energia gehiago ekoizten badu (eskala txiki-txikian egindako esperimentuek guztiz frogatu ez dutena) orduan posible da industrializatzea. Erregai fosilen instalazioek isurtzen duten karbonoa isurtzen ez duen elektrizitate instalazioa eraikitzea, atomoak banatzen dituzten zentral nuklearren arrisku gehien-gehienak izan gabe.

Horrenbestekoa da eskala, hainbeste herrialde daude, normala ere badela holako proiektu batek estropezuka aurrera egitea. Diseinu arazoak direla, edo presio politikoak, beti egongo baitira kostuak handitu eta denbora luzatuko duten kontuak.

Nazioarteko argazki agentziek banatu dituzten irudietan ikusten dira garabiak jada esperimentuaren bihotzaren egitura muntatzen, “Tokamak” deitzen duten erroskilla baten forma duen ganbera. Bertan emango dira fusioaren erreakzioak, plasma baten baitan, partikula subatomikoen zopa gaseoso batean. Atomo ionizatuen hodei zurrunbilotsu hain bero bat, ezen eremu magnetiko izugarri indartsuekin baino ezin daitekeen eutsi.

Demagun proiektua ziztu bizian doala, arazorik gabe, dena alde. Hala balitz ere, hidrogeno puruaz lortutako lehen plasma horren helburua ez da biharko. Urte batzuk beharko dira oraindik. Zortzi? Hamabi? Denetarik irakurtzen da. Oso konplexua baita auzia: irakiten dagoen plasma dago tarte-

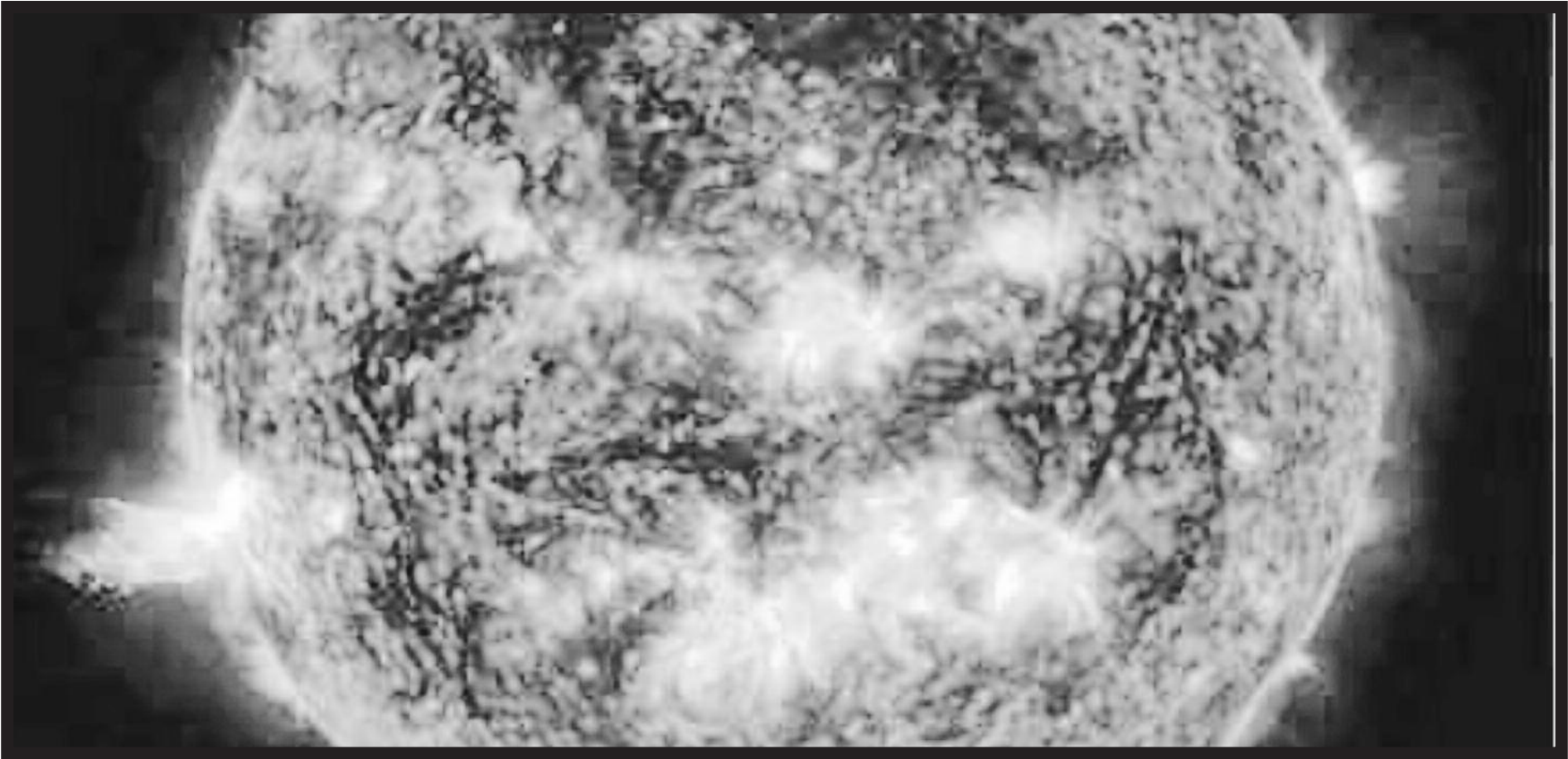
an, hidrogenoaren bi isotoporen –deuterioa eta tritioa– formako erregai ontza baten frakzioa, sei-zazpi minutuko iraupena gehienez, eta energia kantitate erraldoia askatuta.

Fusio nuklearra oso garestia da. ITER instalazioaren diseinu eta kostua 20.000 milioi eurotan zenbatetsita dago. Eta, jakina, benetako kostu erreala, ba disparatua, kontrolik gabea, seguru aski, kalkulazina izango da. Eskala izugarria delako: beste pieza asko hornitzeaz gain, AEBen ekarpena hegazkin-ontzi bat –irakurtzen denez– altxatzeko gai den elektroiman erraldoi bat eraikitzea da. Balentria da ingeniari-tza desafio horiei aurre egitea.

ENERGIA KANTITATE ITZELAK

Erreparasatuz, ITER instalazioko Tokamak ganberan deuterioaren eta tritioaren nukleoak fusionatu behar dira helioa sortzeko, eta prozesu horretan alimaleko energia kantitate bilakatuko den masa kantitate txiki bat galduko da. Fusionatu ahal izateko, nukleo atomikoak beldurgarri azkar mugitu behar dira, eta hain bero egon behar dute ezen gai izan behar diren prozesua eragotzi nahi duten indar naturalak gainditzeko, beraien artean talka egiteko. Eguzkian hori egitea errazagoa da, muturreko eremu grabitazionalen lanaren zati handi bat egiten dutelako. Hartara, nukleoak 15 milioi graduko tenperatura batera egon behar dira, Tokamak ganberaren barruan, eguzkiko erakarren grabitazional indartsurik gabe, atomoak hamar aldiz gehiago berotu behar baitira.

Horregatik behar da energia kantitate erraldoia, plasma berotzeko, eta eremu magnetikoak eta mikrouhinak bezalako beste iturrietatik ere hartzen



da energia. Eta gero, pareteki-ko metro batzuetako distantzian, elektroiman supereroaletan harilkatuta, zero absolutuaren inguruko tenperaturaino hoztu behar da.

Esan beharrik ez dago, eta balego, errepikakorra izatearen beldurrik gabe berriz esan behar da: prozesuaren desafio material eta teknikoak ikaragarriak, beldurgarri handiak dira.

Gaurdaino, fusio nuklearerako erreaktore guztiek erabilitikoa baino energia gutxiago ekoitzi dute, defizita beti egon da hor. Baina fisikarien ustez, ITER instalazioak, bere eskala eta neurri handia baliatuta, hamar aldiz energia gehiago sortuko du. Baina, hala ere, erronka eta arrisku asko, gehiegitxo, dauzkate ideia bururaino eramateko. Besteak beste, eta bereziki, plasmaren ertzetan eman daitezkeen eze-gonkortasunak, esperimientua hondatu dezaketenak.

Beste alde batetik, baina, fusio nuklearrean eman daitez-

keen kontrolik gabeko arriskuak ez dira ematen. Gainera, hondakin nuklearrak sortzen diren arren, ez dute egungo gastatutako erregai-barra erre-aktiboek duten bezain bizitza luzea, eta fisio erreaktoreetatik irradiatutako osagairik ere ez dago.

INDUSTRIALIZATZEKO GERTU

Fusioa zientzia esperimientu garesti izatetik merkaturatuko den energia iturri bideragarri izatera igarotzeko jautzia falta da oraindik, noski. Baina ITER instalazioko arduradunek aurreikusten dutenez, lehen aldiz historian, gai izango dira

Dezepzio latzak egon dira hamarkada luzez. Beti defizit energetikoarekin, adarra joaz fusio nuklearrari: etorkizuneko energia dela, izan dela eta izango dela. Beti etorkizunekoa

Horra plana: izarren energia lurrean ekoiztea, eguzki txiki bat lurrean eraikitzea. Horra ingeniariaren erronka erraldoia, inoiz gauzatu den proiektu zoragarri eta korapilatsuena

Eguzkiaren erreakzioak erreproduzitu eta kontrolatuko dira, eguzkiaren zentroa baino hamar aldiz tenperatura altuagoetara.
GAUR8

fusioan kontsumitzen den baino energia gehiago ekoizteko. Eta helburua, edonondik begiratuta ere, oso noblea dirudien helburua da. Aldaketa klimatikoa atzeraezina izan baino lehen horrelako promesak eskaintzen dituen energia ekoitziko duen instalazio bat prest izatea ederra litzateke. Hamabost urte barru, karbono isurketarik gabeko fusioa eskuragarri, industrializatzeko gertu, izatea benetan izugarria litzateke.

Pentsatzen jarri eta promesa beldurgarri ederra dela dator-kizu burura: erreketatik eta karbono isurketatik libre dagoen energia iturria. Erregai fosilekin eta fisio nuklearretan erabiltzen den uranioarekin gertatzen den kontrara, sekula ere ez da hidrogeno eskasiarik egongo. Ez negutegi efekturik ezta hondakin erradioaktiborik ere. Munduaren sistema energetikoen iraultza totala iragartzen du egitasmoak, errotikakoa, gutiziagarria: mugagabea izango den elektri-

zitatea, merke-merkea, isurketa kutsakorrik gabea.

Lehen aipatu dugunez, orain arteko esperimientu guztiek defizit energetiko batekin funtzionatu dute, eta horrek elektrizitatea sortzeko ahalegina antzutzen zuen. Dezepzio latzak egon dira, hamarkada luzez, adarra jo izan diote fusio nuklearrari: etorkizuneko energia da, izan da eta izango da. Beti etorkizunekoa.

Plasmarekin lana egitea ez delako petrolioarekin lan egitea bezalakoa, partikula subatomikoen zopa gaseosoak kontrolatzeaz ari garelako, eremu magnetiko ultraindartsu bartzuen bidez erroskilla formako ganberaren edozein zatirekin kontaktua egitea ekidinez. Zenbat eta handiagoa eremu magnetikoa, orduan eta trinkoago zukututa erregai hori.

ABANTAILA ASKOKO ENERGIA

Horra gizateriaren historian egin diren bost proiektu garestien artean dagoen proiektua. Ingeniaritzak seku-

la ezagutu gabeko erronka, pertsonak inoiz burutu duten proiektu zoragarri eta korapilatsuena. Horra plana: izarren energia lurrean ekoiztea, eguzki txiki bat lurrean eraikitzea. Gero eta gertuago dagoen plana.

ITER instalazioa –munduan fusio nuklearrean den aurreratuena– %65ean eraikita dago jada. Lehen plasma lortzeko data ere bada: 2025eko abendua. Erreaktorearen zati printzipalak muntatzen hasi dira. Indiak ekoitzi duen Tokamak ganbera (inoiz eraiki den ontzi huts handiena da, 30 metroko diametro eta altuerarekin eta 3.850 tonako pisuarekin) errealitatea da. Laster muntatuko da. Bere kriostatoko bi ganberekin, beroa pasiboki ezabatuko duten bere ontzi huts eta ingurune huts ultrahotzeko imanekin.

Proiektuaren urrats kritiko batean gaude, zati honetan egongo delako plasmaren fusioaren nukleoa ahokatuko duen eremu magnetiko zinez indartsua. Munduko iman supereroale handienak izango ditu, 1.540 milioi gradura dagoen plasma bat gordetzeko aski boteretsuak. Erraz idazten da, baina gogoratzekoa da: eguzkiaren zentroa baino hamar aldiz beroago.

Eguzkia eta gure astro guztiak aktibatzen dituen energiaren ari gara, izarren energiaren, zentral nuklearren edo bonba atomikoen fisioaren oso bestelakoa den erreakzio batez. Abantaila asko dituen energia iturria da, hornidura mugagabea, segurtasun hobea.

Jakina, denak ez daude ados. Izan ere, oraindik ere konpondu gabeko arazoak dira tartean: fusio nuklearrak eskatzen duen dirutza, sortutako tritioaren gas erreaktiboa... Badira

energia berriztagarrien konbinazio erradikal baten aldeko apustu koordinatua egitea hobe litzatekeela diotenak, energia eolikoa, geotermikoa, hidroelektrikoa, eguzkiarena edo itsas-mugimenduena bultzatzea merkeagoa litzatekeela, azkarragoa, betiere, ingurumenean inpakturik gabeko energiari ez dagoela jakitun.

Aitorpen hori eginda, egin ditzagun kalkuluak orain: gizatariak, egunero, 10 terawatt kontsumitzen ditu, hots, 10.000 zentral nuklearren energiaren pare. Beldurgarria da zenbakia, baina are beldurgarriagoa da energia horren zati garrantzitsu bat erregai fosilen erreketak masiboaren eskutik badator, egunean 90 milioi petrolio-upelen baliokidea. Eta hori munduko parte aberatsenean, mundu osoa maila berean jarrita, kontsumoaren eztanda frenetiko bat, neurtezina, egongo bailitzateke. Horrek planteatzen duen desafioaren erantzuna da fusioa nuklearra, agian baita alternatiba bideragarri bakarra ere. Nukleo txikiak nukleo handiagoak sortzeko batu, prozesuan masa bat galdu, eta Einsteinen hitzen arabera ($E=mc^2$), sortzen diren partikula eta nukleoaren energia zinetikoa bihurtzen da.

HORIZONTEA, ZABAL ETA GERTU

Fusio nuklearra ez da berria, egia esateko, dezente ondo ezagutzen da. Beti eduki du ametsetik asko, amets bat baino ez dela, baina a ze ametsa! 1960ko hamarkadan eraiki zuten errusiarrek lehen erreaktorea hainbat teoria zientifiko esperimentatzea xede. Proba asko egin dira, askotariko emaitzak eman dituztenak, baina fusioaren komertzializazioa iristea oso zaila izan da.

Munduko iman supereroale handienak izango ditu, 1.540 milioi graduko plasma bat gordetzeko aski boteretsuak. Erraz idazten da: eguzkiaren zentroa baino hamar aldiz beroago

Ardura eta promesak handiak dira. Inoizko makina konplexuena martxan jartzea delako xedea, energia forma dentsoena ekoiztea: fusio erregai litroa 55.000 petrolio-upelen baliokide

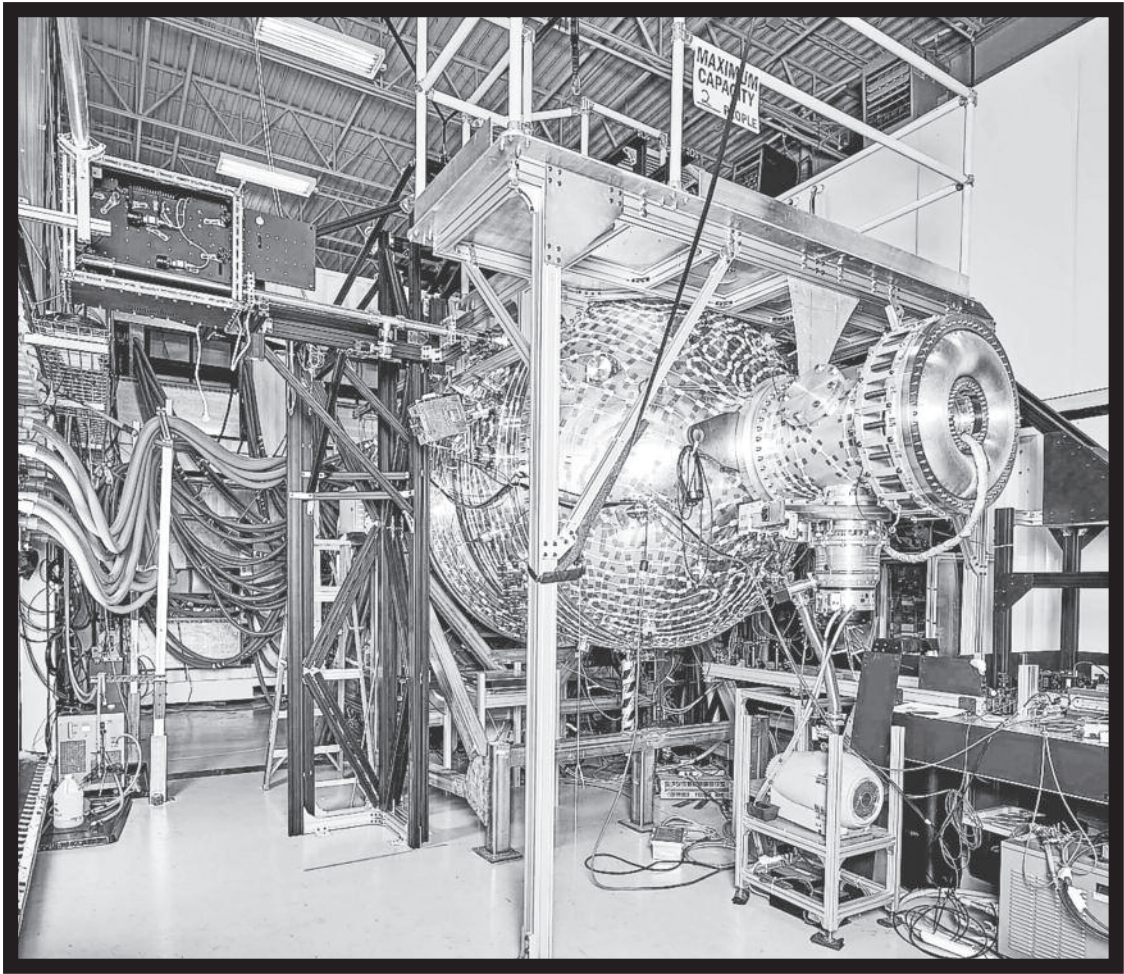
Duela ehunen bat urte uler-tu zen fusioa zela eguzkia aktibatzen zuen prozesua. Eta historian zehar zientzialari asko prozesu hori birsortzen saiatu dira. Punta-puntako zientzia egin da, *big science* deitzen dutena, baina herren geratzen zen beti. Ez zegoen industrializatu ahal izateko horizonterik. Egun, modelazioan eta konpu-

tazioan eman diren aurrerape-nekin, gauzak asko aldatu dira, posible denaren horizontea asko zabaldu eta gerturatu da.

Fusioa nuklearra energia lortzeko bide perfektua bezala definitu zitekeen, gauza baten-gatik ez balitz: ez zekiten nola egin. Orain badakite.

Munduko makina konplexuena martxan jartzea ez da

erraza, are bere ardura, bere promesa, itzela bada. Energia forma dentsoena ekoizteaz ari gara: fusio erregai litro bat 55.000 petrolio-upelen baliokide. Bere forma ohikoenean, iturri ia agorrezinetik etorriko den energia. Itsasoko bi kilometro kubiko urek, teoriarik behintzat, munduko petrolio erreserba guztiek baino energia gehiago eskaini ahalko dute. Nonahiko energia da, seguru, karbono gabea, planeta elektrizitatez elikatzeke gai izan daitekeena. Horixe merezi duela horretan lan egitea. Horixe opa behar zaiola munduko zortetik onena. Eta ametsa, ametsa beti. Eta zenbat eta errealitateetik urrunago, hobe. Hola egin delako posible lurrean eguzki bat eraikitzea.



Fusioaren erregaia metal likidoen zurrumbilora dispartzen duen plasma injektore baten irudia. GAUR8