



Lawrence Livermore laborategiko
NIF Ignizio Instalazioko iitu-ganberaren
barrualdea. Ezkerraldean dagoen ezten-
itxurako egituraren puntan jartzen da
laserrek joko duten itua. ARG.; LLNL

Fusiora bidean pausoz pauso

Egoitz Etxebeste Aduriz · Elhuyar Zientzia

Joan den abenduan egin zuen eztanda albisteak: fusio-erreakzio baten bidez energia-irabazia lortu zen, lehenengoz. Eta, bat-batean, beti 50 urtera ikusten zen amets hori gertuago ikusi genuen. Baina, zenbaterainokoa izan zen aurrerapausoa? Eta, batez ere, zenbateraino dago gertuago energia-iturri agorrekin eta garbi horren ametsa?



“Bizidun guztiok fusio nuklearraren ondorio bat gara”. Horiek dira Fernando Plazaola Muguruzaren lehen hitzak, fusioaz galdetzean. Fisikan doktorea da, EHUko Zientzia eta Teknologia Fakultateko irakaslea eta dekanoa. Gai kuttuna du fusioa, eta urteak dira gertutik jarraitzen duela. “Esaten da argiaren ondorioa garela, baina argi hori fusio-erreakzio nuklearrak sortzen dute; erreakzio horiek gertatzen baitira izarretan, gure Eguzkian”, jarraitu du.

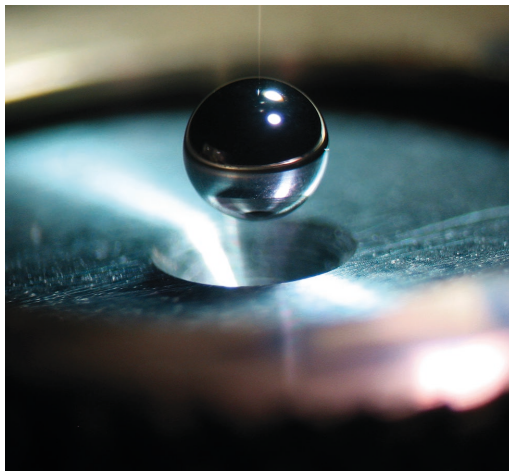
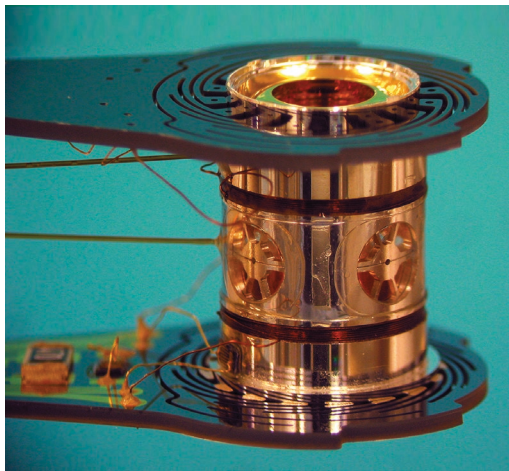
Izarren erdigunean dagoen grabitate-indar izugarriagatik gertatzen da fusioa: bi hidrogeno-atomok bat egiten dute, eta helioa eta energia mordo

bat sortzen da. Grabitate-indar hori Lurrean lortzea ezinezkoa da, baina fusioa lor daiteke, tenperatura oso handiak sortuz. Eta badira bi metodo horretarako: konfinamendu inertziala eta konfinamendu magnetikoa. Hain zuzen ere, hainbatetan lortu da dagoeneko fusioa. “Ikuspegi zientifikotik, hori gaindituta dago”, azaldu du Plazaolak. Arazoa da, ordea, Eguzkian bezala, energia-irabazia lortzea; alegia, fusio-erreakzioa gertatzeko ematen zaiona baino energia gehiago sortzea erreakzioak. “Eta hori, Lur planetan behintzat, nik dakidanez, lehenengo aldiz lortu dute”.

[Lawrence Livermore laborategiko NIF Ignizio Instalazioaren abenduaren 5eko esperimentuaz](#) ari da Plazaola. [Iragarri zutenez](#), sistemari 2,05 megajoule emanda, 3,15 megajoule sortu zituen. “Horrek esan nahi du, egia baldin bada (ez dute parekoek berretsitako artikulu zientifikorik argitaratu), paradigma-aldaketa handi bat dela, argi eta garbi —dio Plazaolak—, eta teknologikoki posible izan daitekeela fusioan oinarritutako zentral elektriko bat egitea”.

Bide beretik hitz egin du Izaskun Garrido Hernandezek: “Lehenengoz energia-irabazia lortu dute, eta hori oso garrantzitsua da fusioa energia-iturri sinesgarritzat hartzeko”. EHUko Kontrol Automatikoko Taldeko ikertzailea da Garrido; besteak beste, fusio-erreakzioak kontrolatzeko sistemak ikertzen eta garatzen dituzte.

Plazaolak esperimentuaren beste alde garrantzitsu bat azpimarratu du: “Iragarri dutenez, Lawsonen ignizio-kriterioaren baliora iritsi dira. *Burning plasma* lortu dute: fusio-erreakzioan sortutako alfa partikulek galerak baino energia gehiago ematen dute eta sistema berrelikatzen dute, eta horrek erretzen jarraitzeko aukera ematen du, denbora-tarte batez. Papera, egurra edo ikatza erretzean gertatzen denaren antzeko zerbait da: erretzen ari den zatiak ondoko zatiaren tenperatura handitzen du, eta su ematen dio”.



Lawrence Livermore laborategiko esperimentuetan laserrek berotzen duten urrezko ganbera (ezkerrean) eta haren barruan jartzen duten deuterioz eta tritioz betetako kapsula. ARG.: LLNL.

Laser-jokoa

Konfinamendu inertziala erabiltzen dute Lawrence Livermore laborategian. 192 laserren aldi bereko pultsu batek urrezko ganbera bat berotzen du. Barruan, diamante sintetikozko esfera bat bat-batean lurruntzen da, eta haren barruan dauden deuterioa eta tritioa (hidrogenoaren bi forma) konprimatzen dira, atomoak fusioatzeraino.

Abenduaren 5eko esperimentuan, 192 laser horiek 300 megajoule behar izan zituzten. Hori kontuan hartzen bada, ia ezerezean gelditzen da fusio-erreakzioan lortutako energia-irabazia (1 megajoule). "Kontuan hartu behar da laser horiek nahiko zaharrak direla, eta gaur egungo laserrek baino askoz eraginkortasun txikiagoa dutela", azaldu du Garridok. "Erreaktore komertzial baterako ez guke horrelako laserrik erabiliko, baina ikerketarako balio dute; jakiteko ematen dugun energia baino gehiago sor daitekeen fusioaren bidez. Horregatik ez da kontuan hartzen laserrek erabiltzen duten energia. Soilik hartzen da ganbera horretan jartzen den energia".

"Laborategi nazional bat da, defentsarekin eta armamentuarekin oso lotua", dio Plazaolak. "Badakigu laserretan asko aurreratu dela azken

urteetan, baina potentzia handiko laser hauek defentsako kontuak dira, eta daukagun informazioa mugatua da".

Hala ere, hortik energia elektrikoa lortu ahal izateko gauza asko daude oraindik gainditzeko. "Ezinbestekoa da energia-irabazia eta pultsuen maiztasuna handitzea", dio Garridok. NIFen pultsu bakarrarekin egin dute, eta kalkulatuta dago gutxienez 10 pultsu beharko liratekeela, eta bakoitzean 10eko irabazia lortu beharko litzatekeela (NIFen 1,5ekoa izan da).

"Askok dago egiteko oraindik, argi dago", dio Plazaolak. "Gainera, ez da bakarrik erreakzioa sortzea. Zentral elektriko bat sortzeko beste gauza asko ere gainditu behar dira. Baina, lehenengo aldiz, energia-irabazia lortu dute, eta hori mugarri bat da".

ITER itsasargi

"Azken finean, ITERen kasuan, gauza bera da. Kolaborazio erraldoi horretan egin behar dutena da frogatu teknologikoki posible dela fusio-erreakzioak irabazia ematea", jarraitu du Plazaolak. Helburua da 2035erako 10eko irabazia lortzea. "Baina hori ere ez da zentral elektriko bat izango. Gero egin beharko da zentral nuklear baten prototipo bat".

Izaskun Garrido Hernandez
EHUko Kontrol Automatiko
Taldekoko ikertzailea



Fernando Plazaola Muguruza
Fisikan doktorea.
EHUko Zientzia eta Teknologia
Fakultateko irakaslea eta dekanoa



Eta hori ere aurreikusita dago, 2045-2050erako: DEMO. Ordurako, espero da ITERek frogatzea sistema bideragarria dela.

Nazioarteko Erreaktore Termonuklear Esperimentala da ITER (*International Thermonuclear Experimental Reactor*). 35 herrialderen arteko lankidetzan ari dira eraikitzen Cadarachen (Frantzia). Dagoeneko bukatuta egon behar zuen arren, atzerapenak pilatuz joan dira, eta [garbi esan dute](#) ez direla iritsiko 2025ean lehen fusio-erreakzioa lortzera. Hala ere, espero dute 2035erako plasma egonkorra lortzeko helburua betetzea, eta 50 MW emanda 500 MW lortzea.

Kasu honetan konfinamendu magnetikoa erabiliko du erreaktoreak; alegia, eremu magnetiko indartsu bati esker lortuko du fusioa. Horretarako, 150 milioi gradu hartuko ditu. NIFeko kapsula ere 100 milioi gradura iritsi zen. Eguzkiaren nukleoko plasma, berriz, 15 milioi gradutan dago. Eguzki-sistemako temperatura handienak Lurreko laborategietan daude.

“Erronkarik handienetako bat erreaktorearen barruko paretan dago”, dio Garridok. Eta ez da temperaturagatik. Deuterioa eta tritioa batzean, alfa partikulak (helioa) eta neutroiak sortzen dira. Energia zinetiko oso handiko neutroiak dira. Horietan dago, hain zuzen ere, erreakzioak ematen duen energiaren % 80. Eta, neutroiek kargarik ez dutenez, ezin dira konfinatu; libre gelditzen dira. “Neutroiek paretajoko dute, energia horrekin ura berotuko da, eta sortzen den lurrinak turbina bat mugituko du”, azaldu du Garridok. Baina neutroien erasoari aurre egingo dioten materialak garatzea da erronka.

Bestetik, neutroien eraginez (aktibazio neutronikoa), paretan erabiliko diren metalak erradioaktibo bihurtu daitezke, nahiz eta maila eta bizitza txikikoak izan; zerikusirik ez fisioko hondakin erradioaktiboekin. “Paretan horiek zenbatero aldatu beharko diren, nola egingo den hori arriskurik gabe... hori ere erronka bat da”, dio Garridok.

“Eguzki-sistemako temperatura handienak Lurreko laborategietan daude”

“Argi eta garbi, hor lan asko dago, baina ari dira egiten”, Plazaolak. “Badakigu neutroi horiek zer energia duten (14 MeV), monoenergetikoak dira, eta hori oso ona da. Askok ari dira ikertzen energia horretarako zein material diren aproposenak aktibazio neutronikoa ahalik eta txikiena izateko”. Gainera, argitu du ITER ez dela bakarrik Cadarachen egiten ari diren makina: “Badaude, munduan zehar, beste hainbat laborategi, non, azeleragailuen bidez, adibidez, ikertzen ari baitira, ITERen izango diren kondizioetan, nola aurre egin horrelako arazoei”.

Aurrerapausoak

“Bestalde, konfinamendu magnetikoaren arloan, beste aurrerapen batzuk ere egon dira, eta, alde horretatik, itxaropentsu nago”, aitortu du Plazaolak. JET (*Joint European Torus*) erreaktorearen lorpenak azpimarratu ditu, batetik. Ingalaterran dago, eta ITER bezala, tokamak erreaktore bat da. 1997an lortu zuten lehen errekorra: 22 megajoule sortzea. Irabazia 0,67koa izan zen, eta potentzia

“Tenperatura altuko supereroaleek aukera emango dute konfinamendu magnetikoko makinak askoz txikiagoak izateko; eta horrek aurrerapen handiak ekar ditzake”

maximoan 0,15 segundo baino ez zuen iraun. lazko otsailean, berriz, [59 megajoulera iritsi ziren](#), nahiz eta irabazia aurrekoaren erdia izan (0,3); baina, 5 segundoz iraun zuen potentzia maximoan. Izan ere, “JET, une honetan, batez ere lanean ari da, ez irabazia handitzeko, baizik eta iraupena luzatzeko, hori baita beste erronka handi bat”, dio Plazaolak.

Bide horretan, “erreakzioaren iraupena luzatzeko, plasmaren kontrolean aurrerapen esanguratsuak lortu dituzte TCV tokamakean, Laussanen (Suitza)”, gehitu du Garridok.

Eta aurrerapausoak aipatzen hasita: “azken urteotan, txinatarrek indarrez sartu dira arlo honetan”, azpimarratu du Plazaolak. EAST erreaktoreak hainbat errekor jarri ditu. Azkena 2021eko abenduaren 30ean: [plasma egonkorra 17 minutuz mantentzea lortu zuten](#), 70 bat milioi graduan.

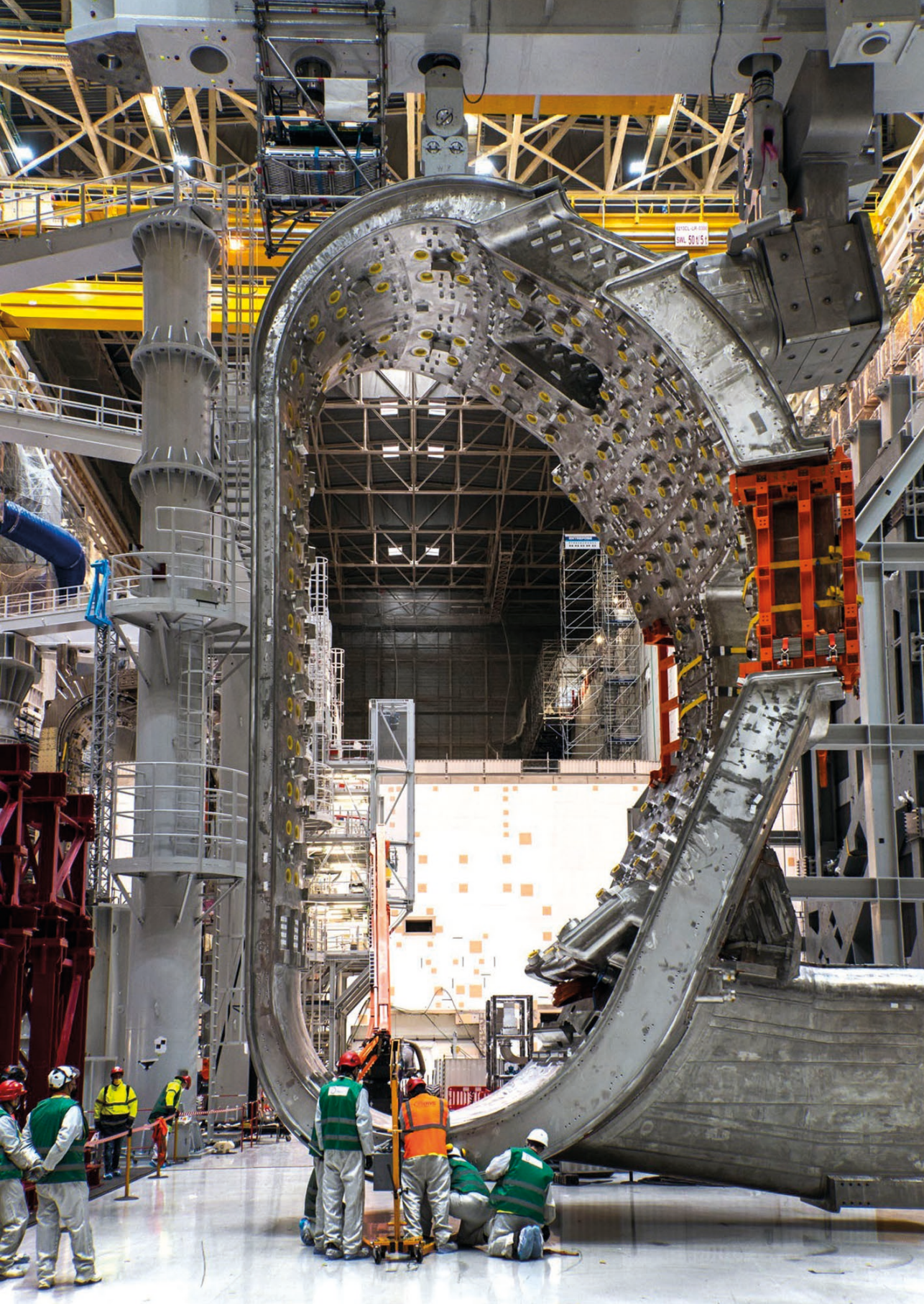
“Baina, nire ustez, interesgarriena da MITen azken urteetan lortu dutena: tenperatura altuko hari supereroaleak erabiltzea”, dio Plazaolak. Konfinamendu magnetikorako behar den eremu magnetikoa sortzeko, hari supereroaleak behar dira. ITERen, esaterako, 5 tesla inguruko eremua izango da, eta, horretarako, hari supereroaleek -270 °C inguruko tenperaturan egon beharko dute (ia zero absolutuan). MITen, berriz, tenperatura altuko supereroaleak garatu dituzte, nitrogeno likidoarenetik gorako tenperatura nahikoa dutenak, eta [20 teslatako eremuak lortu dituzte](#). “Horrek esan nahi du konfinamenduko makinak askoz txikiagoak izan daitezkeela. Gela handi batean kabituta daitezke. Eta horrek ekarri du diru pribatu asko hasi dela sartzen. Hor sartu dira Bill Gates,

Google, Bezos eta horiek denak”. Hogei enpresa edo *startup* berri baino gehiago ari dira dagoeneko horrelako sistemak garatzen eta eraikitzen. “Beste bide bat zabaldu da, eta nik uste dut horrek aurrerapen handiak ekar ditzakeela”.

Isilean

Ekimen txikiago horietan jarria du arreta Garridok ere: “Azpimarratzekoak eta zeharo beharrezkoak dira ITER eta NIF bezalako bandera-ontziak; besteak beste, gainerako guztiek haiei esker ikertu dezaketelako, neurri handi batean. Baina, nik uste dut, zerbait garrantzitsua lortzekotan, leku txikiago batean izango dela. Konpainia pribatuak diru asko ari dira jasotzen, eta batzuek urte asko daramatzate. Ez dakigu zehazki zer egiten duten, ez dute argitaratu nahi izaten, eta ez dute beren lorpenen berri ematen, baina zerbait ariko dira, bestela ez lukete hainbeste diru jasoko”.

Eta sekretismoa ez da konpainia pribatuen kontua bakarrik. “Fusioaren azpian beti dago estrategia geopolitikoa eta militarra ere”, dio Garridok. “Fusioa abantaila handia litzateke, bai gudarako, bai espaziora joateko. Energia-iturri hori garatzen duen herrialdeak abantaila handia izango du, eta, horregatik, ez die ezagutaraziko beste herrialdeei. AEBk eta Txinak, adibidez, interes handia dute fusioan. Ikusi besterik ez dago zenbat erreaktore ari diren eraikitzen. Eta hori ez da soilik guztiontzako energia garbia lortu nahi dutelako, geoestrategiatik baizik”.





MiTēn, temperatura altuko hari superekoalez osatutako iman honekin 20 teslako eremua lortu zuten. ARG.: Gretchen Ertl, CFS/ MIT-PSFC, 2021.

Monopoliorako arriskua ere egon liteke. Azken batean, teknologia hori ez da edonoren esku egongo. Plazaola nahiko baikorra da horretan: "Batetik, kontuan hartu behar dugu makinak ez direla izango ITER bezalakoak. Askoz ere txikiagoak izango dira, eta, esan bezala, bide horretan pausoak ematen ari dira. Eta ITERen bidez ikasitako guztia oso gardena da, eta ezagutza oso zabaldua dago. Gaur egun, 200 tokamak baino gehiago daude. Beraz, beti dago arriskua monopoliorako, baina nik uste dut hemen arriskua ez dela handia. Aldiz, konfinamendu inertzialaren kasuan, ezagutza ia guztia AEBn dago, eta, hor bai, hor monopoliorako arriskua erabatekoa da".

Hurbil eta urrun

Nola Garridok hala Plazaolak garbi dute lortuko dela fusiotik energia-iturri erabilgarria lortzea. "Fusioa komertziala izateko urte asko falta dira, eta ez dakigu nolakoa izango den, baina lortuko da", dio Garridok. "Ziur nago fusioa soluzio bat izango dela, baina mende honen bigarren erdira arte ez dugu

izango fusiozko zentral elektriko bat", Plazaolak. "Nahiago nuke iragarpen horretan porrot egin, baina ez dut uste".

Klima-larrialdi bete-betean gauden honetan, ezin egongo gara, beraz, fusioak salbatuko gaituen esperantzaz. "Klima-larrialdiari aurre egiteko, ezinbestekoa da, Europako Hitzarmen Berdean ezarri bezala, 2050erako deskarbonizazio osoa lortzea, eta, esan dudanez, hori baino lehen, karbonorik gabeko energia-iturri honek ez digu ekarpenik egingo", dio Plazaolak. "Beraz, energia-trantsizioak berriztagarrien bidetik etorri beharko du, nahiz eta horrek ere badituen arazoak: adibidez, kalkulatu da berriztagarriekin, auto elektrikoekin eta abarrekin, material kritiko askoz ere gehiago beharko direla. Baina jarraitu beharko dugu trantsizio hori egiten mende honen bigarren erdira arte". ●