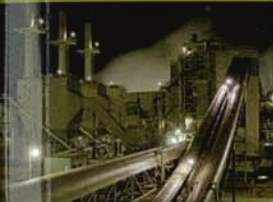




energia urriko mundu baterako gida

gorka bueno





Gorka Bueno Mendieta
(Bilbo, 1970)

Telekomunikazioetan Ingeniari Doktorea, Teknologia Elektronikoko Irakasle Titularra da EHUⁿ, Bilboko Ingenieritza Goi Eskola Teknikoan. Energia fotonvoltaikoaren arloko hainbat ikerketa-proiektutan hartu du parte 1994tik hona, nagusiki ezaugarri industrialeko siliziozko zelula fotonvoltaikoen fabrikazio-prozesuen hobekuntzan. Hainbat kongresu eta aldizkari teknikoko artikulu eta patenteren egilekide da, energia fotonvoltaikoaren arloan.

ENERGIA URRIKO MUNDU BATENTZAKO GIDA

Gorka Bueno

AURKIBIDE OROKORRA

SARRERA	1
1. ENERGIAREN GAINEKO ARGIBIDE BATZUK	11
Energiaren definizio baterantz	11
Energia motak	15
Zenbat energia dago eskuragarri?	18
Energia zenbateko batzuk	21
Potentzia	24
Efizientzia	28
Karga faktorea	35
Sare elektrikoa	38
Erregai fosilen papera	44
2. GAURKO EGOERA ENERGETIKOA	47
Kontsumoa munduan	47
Petrolioaren ekoizpen gorena	54
Hubberten kurba	56
Petrolioaren erauzketa	60
Kasu praktiko bat: Saudi Arabia	67
Findegiak	72
Gas naturala	75
Ikatza	84
Energia berriztagarriak	88
3. ETORKIZUNA: INSTITUZIOEN HELBURUAK	95
Europako Batasuneko helburuak	96
Espainiako administrazioaren helburuak	109
Euskal administrazioen helburuak	111

4. ETORKIZUNA: PROSPEKZIO LANAK	121
Petrolioa: ASPO vs. USGS	122
ASPOren ikuspuntua	124
IEA eta WETOren aurreikuspenak	132
IEAren proiektzioak (Nazioarteko Energia Agentzia)	133
WETOren aurreikuspenak	140
5. ENERGIA BERRIZTAGARRIEN ANALISIA	145
Energia eolikoa	146
Energia fotovoltaikoa	160
Energia termikoa	179
Biomasatik ateratako energia, eta bioerregaiak	193
Bioerregaiak, petrolioaren ordeztu zuzen bakarrak	203
Energia geotermikoa eta itsas energia	210
6. ENERGIA BEKTOREAREN ARAZOA	217
Hidrogenoaren teknologia	223
Erregai-pilen kostua murriztu	225
Hidrogenoa modu merke sortzen duten teknikak garatu	228
Hidrogenoa bildu eta garraiatzeko metodo bideragarriak aurkitu	230
Hidrogenoaren banaketa-sare seguru bat garatu	233
7. ENERGIA URRIKO MUNDU BATEAN EZ GALTZEKO ZENBAIT IRIZPIDE	241
Energia ez da sortzen, ezta deuseztatzen ere	241
Energia katean zehar, beti, gero eta energia erabilgarri gutxiago dago eskuragarri	243
Errealitatearekin zintzoak izan gaitezten	245
Gero eta erregai fosil gutxiago geratzen dira	246

Energia nuklearrak ez digu konponbidea ekarriko	248
Energia berriztagarriek etorkizunean garrantzia eta pisu handia izango dute nahaste energetikoan; dena den, beren mugak ere agertuko zaizkigu	253
Fluxu berriztagarrien ustiapen masiboa bideratzeko, era askotako inbertsio izugarriak eta egungo azpiegituren berrikuntza beharko dira	254
Nekazaritza, ergelak, nekazaritza!!	256
Garraio sektorearen krisi sakona, eta desglobalizazioa ote?	258
Kontsumoa murriztea, besterik ez dago. Efizientzia hobetuz eta energia aurreztuz haratago, soiltasunerako deia	260
BIBLIOGRAFIA ETA BESTE ERREFERENTZIA BALIOTSU	269
AURKIBIDE ALFABETIKOA	277

IRUDIEN AURKIBIDEA

1. irudia. Baterako sorkuntza	31
2. irudia. Energia elektrikoaren eskaera eta eskaintzaren arteko doiketa, 2005.1.27, Espainian	39
3. irudia. Sorkuntza elektriko osoa eta sorkuntza eolikoa Espainian, 2006.1.12-2006.1.14	43
4. irudia. Petrolioaren erreserbak, ekoizpena eta kontsumoa munduan, 2004an	55
5. irudia. AEBetako petrolioaren ekoizpena, Hubberten arabera	59
6. irudia. Petrolio hobi bat	61
7. irudia. Saudi Arabiako petrolio ekoizpen historikoa	72
8. irudia. Gas naturalaren erauzketa, Euskal Herrian	80
9. irudia. Ziklo konbinatuko zentral baten diagrama	83
10. irudia. Ikatzaren erreserbak, ekoizpena eta kontsumoa munduan, 2004an	85
11. irudia. Energia berriztagarrien arteko banaketa, energia primarioaren barruan, 2004an	89
12. irudia. Energia primarioaren iturrien gama, Europako Batasunean, 2000 urtean	99
13. irudia. EB-15eko kideen elektrizitate berdearen kuotak, 1997 urtean	101
14. irudia. EB-25eko elektrizitatearen jatorria, 2000 urtean	102
15. irudia. Petrolioaren aurkikuntzak. Historia-erregistroak eta aurreikuspenak, ASPOren arabera	125
16. irudia. Petrolio eta gas naturalaren ekoizpena. Historia-erregistroak eta aurreikuspenak, ASPOren arabera	129
17. irudia. P/Q vs. Q kurbaren doiketa, ekuazio logistikoarekin	130
18. irudia. Munduko energia kontsumoaren aurreikuspena, 2030 urteraino	141
19. irudia. WETO txostenak egindako petrolio eta gas naturalaren salneurrien aurreikuspenak 2030 urtera arte, eta azken urteotako benetako bilakaera	143

20. irudia. Charles Brush ingeniariak egindako aerosorgailua, 1887an, Cleveland-en (Ohio, AEB)	147
21. irudia. REpower 5M. Alemanian, 2005	150
22. irudia. Horns Rev-eko parke eolikoa (Danimarka)	152
23. irudia. Sorkuntza eolikoa Espainian, 2006ko otsailaren 15 eta 16an	156
24. irudia. Zelula fotovoltaiko baten diagrama	161
25. irudia. Panel eta sistema fotovoltaikoak	163
26. irudia. Munduko ekoizpen fotovoltaikoaren bilakaera, sektoreka	168
27. irudia. Castejon-go eguzki-hortua	172
28. irudia. Munduko potentzia fotovoltaiko instalatu metatua eta kostu metatuak, 2030 urteraino	175
29. irudia. Energia fotovoltaiko eskuragarria, energia itzultze-denboraren ikaste efektua %15 izango balitz, 2030 urtera arte	178
30. irudia. Tenperatura baxuko sistema termiko baten diagrama	182
31. irudia. Tenperatura altuko ispilu-sistema termiko baten diagrama	185
32. irudia. "Solar II" 10 MW-eko sistema fototermikoa (California, AEB)	186
33. irudia. Eguzki-tximiniaren diagrama	189
34. irudia. Lur planetaren azalaren banaketa, eremu eta erabileren artean	200
35. irudia. Erregai-pila baten diagrama	226
36. irudia. Espainiako kontsumo elektriko osoa energia fotovoltaikoarekin estaliko lukeen sistemaren sorkuntza-profila, egun batean, hidrogenoa energia bektore moduan erabilita	236
37. irudia. Energia moten arteko banaketa, energia kontsumo primarioan eta sorkuntza elektrikoan, Txinan, AEBetan eta Frantzian	250
38. irudia. Sorkuntza nuklear elektrikoaren erregistro historikoa eta aurreikuspenak, AEBetan eta mundu osoan	252
39. irudia. Giza-garapenaren indizearen eta biztanleko energia primarioaren kontsumoaren arteko erlazioa, munduko herrialdeentzat	265

TAULEN AURKIBIDEA

1. taula.	Energia mota batzuk	16
2. taula.	Energia zenbateko batzuk (I)	19
3. taula.	Energia zenbateko batzuk (II)	22
4. taula.	Potentzia zenbatekoko adibide batzuk	25
5. taula.	Zenbait tresna eta prozesuren efizientziak	30
6. taula.	Sorkuntza elektrikoaren karga faktorea Espainian, 2004-2005	37
7. taula.	Energia primarioa 1973 eta 2003an. Baliabide energetikoen arteko banaketa	49
8. taula.	Azkeneko kontsumoa 1973 eta 2003an, sektoreka eta baliabide energetikoka	52
9. taula.	Elektrizitatearen sorkuntza banaketa, erregai eta iturrien arabera, 1973 eta 2003an	53
10. taula.	Gas naturalaren kontsumoa 1973 eta 2003an	82
11. taula.	Energia berriztagarrien arteko banaketa, energia primarioaren barruan, 2004an	91
12. taula.	Espainia eta Frantzia Estatuei Europako Batzordeak onartutako potentzialtasun berriztagarriak	105
13. taula.	Espainiako helburuak energia berriztagarriei dagokienez, 2010erako	110
14. taula.	Munduko erreserba frogatuak eta etorkizunean aurkitzekoak, USGS eta ASPOren arabera	123
15. taula.	REpower 5M aerosorgailuaren ezaugarri nagusiak	150
17. taula.	Horns Rev-eko parke eolikoaren ezaugarri nagusiak, Danimarka	152
18. taula.	Energia eolikoaren potentzialtasuna, munduan eta Hego Euskal Herrian	155
19. taula.	Castejon-go eguzki-hortuaren ezaugarri nagusiak	171
20. taula.	Tenperatura baxuko energia termikoaren datu batzuk, 2004an	181

21. taula. "Solar II" 10 MW-eko sistema fototermikoaren ezaugarri nagusiak (California, AEB)	186
22. taula. PS-10 sistema fotoelektrikoaren ezaugarri nagusiak	189
23. taula. SolarMission Technologies Inc. Konpainiaren eguzki-tximiniaren ezaugarri nagusiak	191
24. taula. Biomasaren potentzialitate energetikoaren kalkuluetan erabilitako datuak	200
25. taula. Biomasaren ustiapenaren potentzialitatea Euskal Herrian, 2050erako Suedian aurreikusitako teknologiak erabiliz.	201
26. taula. Bioerregaien ekoizpena, munduan	208
27. taula. Mutrikuko itsas energiako instalazioaren ezaugarriak	212
28. taula. Energia bektoreen erkaketa	218

Akronimo eta laburduren zerrenda

AEB	<i>Ameriketako Estatu Batuak</i>
APPA	<i>Asociación de Productores de Energías Renovables</i> (Espainia)
ASPO	<i>Association for the Study of Peak Oil</i> , petrolioaren ekoizpen gorena ikertzen duen elkarte
Attac	<i>Association pour la Taxation des Transactions financières pour l'Aide aux Citoyennes et citoyens</i> , transakzio finantziarioei zerga ezartzekoaren aldeko elkarte
BOS	<i>Balance of System</i> , sistema fotovoltaikoen balantze-sistema
BP	<i>British Petroleum</i>
CLH	<i>Compañía Logística de Hidrocarburos</i>
CNE	<i>Comisión Nacional de Energía</i> (Espainia)
CNG	<i>Compressed Natural Gas</i> , gas natural konprimatua
DOE	<i>Department of Energy</i> (AEB)
EAE	<i>Euskal Autonomia Erkidegoa</i>
EB	<i>Europako Batasuna</i>
EdF	<i>Electricité de France</i>
EEE	<i>Euskal Energia Erakundea</i>
EIA	<i>Energy Information Administration</i> , AEBetako Energia Saileko Energia Informazioko Administrazioa
EPBT	<i>Energy Pay Back Time</i> , energiaren itzultze-denbora
EREC	<i>European Renewable Energy Council</i> , Europako Energia Berriztagarrien Kontseilua
ESA	<i>Electronic Shock Absorber</i> , energia elektrikoa biltzeko dispositiboa
ESTIA	<i>European Solar Thermal Industry Association</i> , Europako eguzki-energia termikoko industriak biltzen dituen elkarte
eV	<i>Electron-volt</i> , energia unitatea
FAO	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i> , Elikadura eta Nekazaritzarako Nazio Batuen Erakundea
HIES	<i>Hartutako ImmunoEskasiaren Sindrome</i>
IDAE	<i>Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía</i> (Espainia)
IEA	<i>International Energy Agency</i> , Nazioarteko Energia Agentzia

IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i> , Elektrizitate eta Elektronikako Ingeniarien Institutua
IGCC	<i>Integarted Gassification-Combined Cicle</i> , gasifikazioarekin batera integratutako ziklo konbinatua
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> , Klimaren Aldaketari buruzko Gobernu arteko Taldea
J	<i>Joule</i> , energia unitatea
kWh	<i>kilowatt-ordu</i> , energia unitatea
LNG	<i>Liquified Natural Gas</i> , gas natural likidotua
MENA	<i>Middle East and North Africa</i> , Ekialde Ertaineko eta Ipar Afrikako herrialdeak IEAren txostenetan
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i> (AEB)
NBE	<i>Nazio Batuen Erakundea</i>
NFE	<i>Nafarroako Foru Erkidegoa</i>
NREL	<i>National Renewable Energy Laboratory</i> (AEB)
OECD	<i>Organization for Economic Co-operation and Development</i> , Ekonomia Lankidetzeta eta Garapenerako Antolakundea
OPEC	<i>Organization of the Petroleum Exporting Countries</i> , Lurralde Petrolio Esportatzaileen Erakundea
PEM	<i>Proton Exchange Membrane</i> , protoi trukeko mintza erregai piletan
PER	<i>Plan de Energías Renovables</i> (Espainia, 2005)
PFER	<i>Plan de Fomento de Energías Renovables</i> (Espainia, 1999)
POLES	<i>Prospective Outlook on Long-term Energy Systems</i>
PV	<i>PhotoVoltaic</i> , fotovoltaiko
PVGIS	<i>Photovoltaic Geographical Information System</i>
REE	<i>Red Eléctrica de España</i>
REN21	<i>Renewable Energy Policy Network for the 21st Century</i>
RPS	<i>Renewable Portfolio Standard</i>
SWEC	<i>Spanish Weather for Energy Calculations</i>
tpb	tona petrolio baliokide, energia unitatea
URR	<i>Ultimately Recoverable Resources</i> , petrolioko azken buruko baliabide berreskuragarriak
USGS	<i>U.S. Geological Survey</i>
W	<i>Watt</i> , potentzia unitatea

WETO *World Energy, Technology and climate policy Outlook*
WEO *World Energy Outlook (IEAren txostena)*
ZP *Zaldi-potentzia, potentzia unitatea*

Kontuan hartzeko konbertsio faktore eta baliokidetasun batzuk

<i>Aurrizkia</i>	<i>Baliokidetasuna</i>	<i>Adibidea</i>	
zetta, Z	10^{21} , 1 000 000 000 000 000 000 000	zettajoule, ZJ, 10^{21} J	
exa, E	10^{18} , 1 000 000 000 000 000 000	exajoule, EJ, 10^{18} J	
peta, P	10^{15} , 1 000 000 000 000 000	petajoule, PJ, 10^{15} J	
tera, T	10^{12} , 1 000 000 000 000,	bilioi bat	terawatt, TW, 10^{12} W
giga, G	10^9 , 1 000 000 000,	mila milioi	gigawatt, GW, 10^9 W
mega, M	10^6 , 1 000 000,	milioi bat	megawatt, MW, 10^6 W
kilo, k	10^3 , 1 000,	mila	kilowatt, kW, 10^3 W
mili, m	10^{-3} , 0,001 ,	milaren bat	miliwatt, mW, 10^{-3} W
micro, μ	10^{-6} , 0,000 001 ,	milioiren bat	micrometro, μ m, 10^{-6} m
nano, n	10^{-9} , 0,000 000 001		nanometro, nm, 10^{-9} m
pico, p	10^{-12} , 0,000 000 000 001 ,	bilioiren bat	picogramo, pg, 10^{-12} g
femto, f	10^{-15} , 0,000 000 000 000 001		femtogramo, fg, 10^{-15} g

Kilowatt-ordu (kWh) energia unitatea da, eta normalean energia elektrikoaren kontsumoa/sorkuntza adierazteko erabiltzen da.

Kilowatt-ordu bat, kilowatt bateko potentzia daukan sistema batek ordu batean eraldatutako energia da (lan mekanikoa, elektrizitatea, bero... sortzeko).

tona petrolio baliokidea (1 tpb)	7,33 upel petrolio	1.111,1 m ³ gas natural	42 gigajoule (42 x 10 ⁹ J)	11.666,7 kilowatt-ordu
----------------------------------	--------------------	------------------------------------	---------------------------------------	------------------------

Tona petrolio baliokide baten energia edukia **11.666,7 kilowatt-ordu** da,

baina **tona petrolio** batek **4.500 kilowatt-orduko** energia elektrikoa sortzen du

zentral termoelektriko klasiko batean, horren **efizientzia %39** ingurukoa baita.

Sarrera

Zientzian eta teknologian, garrantzitsua den eta mendeetan barrena zientzialarien arreta eskatu duen kontzeptu bat baldin badago, hori, zalantzarik gabe, energia da. Alabaina, energiaren mundua, sarritan, ez ulertua da oso. Gure gizartearen zutabe nagusietariko bat izanik, politikari, pentsalari sozial, eta orokorrean ardura larriak dauzkaten agente sozialek, energiaren problematika behar den neurrian aintzakotzat hartzen ez dutelakoan nago. Horren adibide ezin hobea, azken urteotan Europan -baita mundu osoan ere- pentsamendu alternatiboan paper garrantzitsu bat izan duen idazle, akademiko eta kazetari batek eskaintzen digu. Ignacio Ramonet *Le Monde Diplomatique*-eko zuzendari, Attac-eko sortzaile eta Munduko Foru Sozialetan partehartzaile aktiboenetarikoak, ikusmen bereziki zorrotz batekin aztertu ditu gure gaurko mundu globalizatua eta hura mugiarazten duten indar ekonomiko eta sozialak¹. Alabaina, haren analisietan, datozen urteotarako agenda geopolitikoa osatzerakoan, oso deigarria da pentsalariak energiari buruzko gaiak kontuan ez hartzea. Haren azken liburuetakoa batean², hasi berri dugun mende honetako gatazken atzean egon litezkeen arazoen inbentarioa egiterakoan, energiaren arrastorik ez: munduko gobernagarritasun eza, krisi ekologikoa, merkatu finantzarioen porrota, HIESaren hondamendia, gizarte barruko eta herrien arteko desberdintasun gero eta nabarmenagoak, eta abar. Kontrakoa dena, askotan, guztiz *desmaterializatua* omen den gure gizarte aurreratu honetan, erabat beharrezkoa den sustrai materiala eta energetikoa ez da bakarrik ahazten, baizik eta beraren desagertzea defenditu ere³:

1 Gogora dezagun, adibidez, I. Ramonet izan zela *pentsamendu bakarraren* kontzeptuaren sortzailea (ikus “El pensamiento único”, in *Le Monde Diplomatique*, 1995eko abuztua, eta “La chispa francesa”, in *El País*, 1995eko abendua).

2 I. Ramonet, *Guerras del siglo XXI. Nuevos miedos, nuevas amenazas*. 2002.

3 I. Ramonet, *Guerras del siglo XXI*. 18-19 or. Haatik, azken bi urteotan lehengai eta energiaren merkatuetan

XXI. mendeak aurrera egiten duen heinean, nazioetako aberastasun berria gero eta gehiago oinarrituko da materia gris, jakintza, informazio, ikerketa eta eraberritzeko gaitasunean, eta ez lehengaien produkzioan. Horri dagokiolarik, ez da batere gehiegizkoa baieztatzea aro postindustrial honetan, tradiziozko diren hiru faktore nagusiek -lurraldetasuna, demografia eta lehengaien ugaritasuna- bistako ikur izateari utzi diotela eta, paradoxikoki, desabantaila nabarmen bihurtu direla.

Hala eta guztiz ere, I. Ramonet ez da *desmaterializazioaren gaitzak* jotako bakarra. Larriagoa dena, arlo zientifiko-teknikoan dihardutenen artean ere, gaitza egon badago zabaldua. *IEEE Spectrum*-ek, arlo teknologikoan mundu mailako liderra den IEEE erakunde profesionalaren hilabetekariak, 2004an, bere 40. urteurrena ospatzeko, maila goreneko 40 jakintsu itaundu zituen, puntako teknologien bilakaeraz⁴. Haien artean, Intel, Siemens, Cisco, Fujitsu, Xerox, Microsoft, Lucent eta Texas Instruments-eko goi mailako exekutibo eta ikerketa arduradunak, eta Princeton, Harvard, Berkeley, MIT, Hokkaido eta Southampton-eko unibertsitateko katedradun batzuk. Datorren hamarkadarako, teknologia garrantzitsuenak zein izango ziren galdekatuta, honako hauek aipatu zituzten jakintsuek gehienbat: internetekin lotutako teknologiak, *wireless* delakoarekin lotutakoak, konputazioarekin lotutakoak, nanoteknologia, bioteknologia, eta informazioko teknologiak, zazpina aipamenekin; energia produktuek, berriz, aipamen bakar bat jaso zuten, potentzia baxuko produktuek bezala. Pertsona bakar batek aipatu zuen gizateriaren premia material larriak asetzeko beharra, teknologia berrien orientatzaile moduan. Ez dirudi zientzialari eta teknologo askorentzat gizateriaren premia energetikoei aurre egitea kezka nagusi denik.

Hari gabeko komunikazioak, internet, informazioa... *ekonomiaren desmaterializazioa*

gertatutako igoera izugarriek, ziur aski, bere jarrera mugiarazi diote Ramoneti.

4 “The View from the Top”, *in* IEEE Spectrum, 2004ko urria, 16-31 or.

modan omen dago, baina ezin dugu ahaztu oinarri materiala. Hain gaude ohituta, askotan ez dugula nabaritzen, eta bakarrik huts egiten duenean, edo falta zaizkigunean, sumatzen da haren hutsunea. 2003ko abuztuaren 14an, AEBetako Ohioko instalazio batean gertatutako axolagabekeria batek, itzalaldi segida amaigabea sortu zuen sare elektrikoan, Kanada eta ipar-ekialdeko AEBetan barrena. Horren ondorioz, New York, Cleveland, Toronto eta antzeko hiri askotan, argindar barik, 50 milioi pertsona baino gehiago noraezean ibili ziren, ordu luzez, pila elektriko, haizemaile, ogi, ur botilatu edota izotz bila. Hiru urte geroago, New Orleans inguruan Katrina urakanak sortutako hondamendi naturalak beste behin erakutsi zigun kontu gehiegiren eskuragarritasuna ziurtzat jotzen dugula. Erregai fosilen erabilera masiboan oinarritzen den egungo energia sistemak ez du asetzen munduko txiroen energia behar larrienak: munduan zehar, 2.400 milioi lagunek egurra erabiltzen dute janaria prestatzeko, eta 1.600 milioik ez daukate sare elektrikorako iristerik⁵.

Ramonet eta beste askoren nahastea, baina, nahiko ulergarria da, energiaren mundua oso konplexua delako; izan ere, harekin lotutako aurreikuspenen hutsegiteak guztiz ohikoak dira⁶. Energia eta teknologia uztartzerakoan sortzen diren konplexutasun eta zailtasunez jabetzeko, XIX eta XX. mende artean bizi zen pertsonaia baten gertakizun batzuk ekarri nahi ditut gogora. Thomas Alba Edison (1842-1938) ikertzaile, asmatzaile eta enpresari famatua ezinbesteko erreferentziatza hartu behar da gaurko azpiegitura energetikoaren sorrera azaltzerakoan, bereziki sorkuntza eta sare elektrikoari dagokienez. Edisonek berak ipini zuen martxan munduko lehenengo zentral elektrikoa, 1882. urtean, Manhattan-en, Pearl deituriko kalean⁷. Zentral horrek argindarra sortzen zuen, inguruko

5 NBE-Energia, *The Energy Challenge for Achieving the Millennium Development Goals*, 2006, 2. or.

6 Azken 120 urteotan energiarekin lotutako hainbat aurreikuspenen hutsegiteren berri izateko, ikus Vaclav Smilek 2003an argitaratutako *Energy at the Crossroads*, bereziki 3. kapitulua, *Against forecasting*, 121-180 or.

7 "Pearl Street Station: The Dawn of Commercial Electric Power", in IEEE VIRTUAL MUSEUM, <<http://www.ieee-virtual-museum.org/collection/event.php?id=3456876&lid=1>>.

kaleetako eta enpresetako argiak elikatzeko -besteak beste, *The New York Times* egunkari famatuarenak-. Hala ere, badago beste arrazoi bat Edison gogora ekartzeko: gure asmatzaile famatuak hanka-sartze nabarmenak izan zituen bere bizitzan zehar, eta Pearl Street-en inauguraturiko zentral elektrikoa, horietako bat izan zen. Zer dela eta? Kontua da munduko lehenengo zentral termoelektrikoak -ikatzaren errekuntzaren bidez sortzen baitzuen energia elektrikoa- korrante jarraituko elektrizitatea sortzen zuela.

XIX. mende amaieran oraindik ez zegoen batere argi zein izango zen sare elektrikoaren eredu nagusia, eta elektrizitatearen erregimena oso eztabaidatua zen. Alde batetik, Tesla, Westinghouse eta beste batzuek korrante alernoaren erabilera bultzatzen zuten. Beste aldetik, Edisonek korrante jarraitua defenditzen zuen, korrante alernoaren erabilera oso arriskutsua, garestia eta teknikoki erabiltzeko oso zaila izango zela aldarrikatuz. Urte gutxitan oso argi ikusi zenez -eta gaur gure inguruan begiratu besterik ez dugu behar-, sare elektrikoan korrante alternoko elektrizitatea izan zen garaile.

Sare elektrikoaren funtzionamendua aurreikustean Edisonek huts egin zuen, eta ez zen haren hutsegite bakarra. Hogei urte beranduago, mende berriaren lehenengo hamarkadan, Edison buru-belarri aritu zen auto elektrikoaren inguruko ikerketa egiten. Urte horietan, lehenengo autoak errepideetatik ibiltzen hasiak ziren, baina etorkizunerako autoen motorrak zein motatakoak izango ziren ez zen, artean, batere finkatuta. Edisonek, aurrerantzean ikusiko ditugun arrazoiengatik, motor elektrikoaren aldeko apustu sutsua egin zuen. Izan ere, prototipo batzuk eraiki zituen. Beste aldetik, Rudolf Diesel ingeniari alemaniarrek 1893an patentatu zuen bere izeneko motorra; aldi berean, barne-errekuntzako motorrak -gasolina erretzen funtzionatzen duenak- XIX. mendean zehar aurrerakuntza nabarmenak jaso zituen. Urte horietan, XX. mendean dagoeneko, beste

ingeniari bikain gazte batek egiten zuen lan Edisonen laborategian: Henry Ford. Momentu batean, Edisonek bere enpresako ikerketa-laborategiaren ardura nagusia eskaini zion Fordi. Baina Fordek bazeukan alde ilun bat bere curriculumean: Edisonen irizpidearen kontra, Fordek pentsatzen zuen -honetan ere aurrerago ikusiko ditugun arrazoiengatik- gasolinaren barne-errekuntzako motorrak etorkizun askoz indartsuago izango zuela, motor elektrikoak baino. Lanpostu garrantzitsu bat lortzeko zorian, gasolinako motorrarekin bere lanak alde batera uzteko bidegurutzean, Fordek Edisonengandik aldendu eta bere kabuz gasolinaren motorrarekin lanean jarraitzea erabaki zuen, guk ezagutzen ditugun ondorio nabariekin batera: egun, gure errepideetatik, *Ford* markako autoak ibiltzen dira, eta ez *Edison* markakoak.

Nola da posible hain gaitasun handiko pertsona batek holako hutsegite nabarmenak egitea? Printzipioz, ez da harritzekoa, eta azalpena oso sinplea da. Energiaren errealitatea -baliabideak, teknologiak, sistemaren kudeaketa eta abar- benetan konplexua da, eta edozein momentutan, oso zaila epe luzean garaipen teknologikoei nondik joko duten asmatzea. Nahiz eta Naturaren legeak, zientziaren garapenaren bidez gero eta hobeto ezagutzen ditugunak, bortxaezinak izan -eta hortik muga saihestezin batzuk beti agertuko zaizkigu-, ezagutza zientifikoa mundu errealean inplementatu behar denean Naturekin zuzenean lotuta ez dauden beste elementu batzuk ere agertzen dira, oso kontuan hartzekoak: lehengaien eskuragarritasuna, kostu ekonomikoak, politikoak eta ingurumenarekikoak, teknologiaren erabileraren erosotasuna, eta abar. Askotan, konponbide tekniko onenak errealitatean txertatzerakoan, muga garrantzitsuenak espero ez ditugun lekuetatik datozkigu, eta teknikoki mugatuagoak zirenek bideragarritasun praktikoagoa erakusten dute.

Edisonen esperientzia ikusita, ondorio garrantzitsu bat atera behar dugu: energiaren arloan, eta bereziki energiarekin lotutako dauden teknologia eta inplementazio tekniko errealez eztabaidatzean, zuhurtzi handiz jokatu behar dugu. Beharbada, ez bakarrik zuhurtzia, baizik eta eszeptizismo pixka bat ere izan daiteke guztiz beharrezkoa, bai energiarekin lotutako epe luzeko aurreikuspenak botatzen direnean, baita teknologia energetikoen gaineko lan hau eta antzekoak egiten direnean. Izan ere, lan honen egileak bere eskubidea aldarrikatzen du, apaltasun osoz, bere irizpenetan huts egiteko, argi baitauka etorkizuna irekia eta konplexua dela, zentzu askotan.

Hala ere, ez gaude ez itsu ez gor, eta nahiz askotan oso zaila den aurrean daukagun errealitatea analizatzea, ezbairik gabe ondorio batzuk atera ditzakegu, hurrengo orrialdeetan erakusten saiatuko garenez.

Desmaterializazioaren nahastera itzuliz, honen atzean datzana, ziur aski, zera da: egungo gizartean, erregai fosilek eskaintzen diguten oparotasun energetikora ohituegiak gara, ezbairik gabe. Gainera, energia-sistema, zibilizazioaren zutabe nagusienetariko bat izanik, hein handi batean oso ezezaguna da, baita ez ulertua ere. Lehenengo kapituluan, energiarekin lotutako kontzeptu eta arazo batzuk aurkeztuko ditugu, liburuan zehar garatuko direnak: zer da energia?, zenbat energia kontsumitzen da munduan?, honekin lotuta, zenbat energia dago eskuragarri?, zeintzuk dira sorkuntza elektrikoaren zutabeak eta muina?, zer da energia bektorea?

Bigarren kapituluan, XXI. mendeko munduko egoera energetikoari begirada zorrotz bat eskainiko diogu, non ikusiko baitugu kontsumo energetikoa, benetan itzela eta eutsiezina izateaz gain, erregai fosilen erabileran oinarritzen dela -hein handi batean,

elektrizitatearen erabilerarekin batera-. Egun, erregai fosil eta bereziki petrolioaren agorpenaren eztabaida pil-pilean dago. Hura hobeto ulertzeko asmoz, petrolio ekoizpenari jarriko diogu arreta berezia bigarren kapituluan, beste energia iturriak ahaztu barik: ikatza, gas naturala, eta abar.

Hirugarren eta laugarren kapituluetan etorkizunari begira jarriko gara, munduko eta gure inguruko administrazio eta instituzioen begien bidez. Hirugarren kapituluan, datozen urteotarako energiaren ekoizpen eta kontsumoarekin lotuta administrazioek jarritako helburuak aztertuko ditugu. Gaur jarritako helburuak etorkizuna izan ez arren, gutxienez, badira izan etorkizunerako desiratutako balizko norabide bat; horien irakurketaren harira, baieztatuko dugu energiaren hornikuntzaren arazoa, gutxienez gure inguruko administrazioentzat, guztiz erreal dela.

Laugarren kapituluan, nazioarteko agentzia eta instituzio batzuek berariaz energia-sistemari buruz egindako aurreikuspen eta prospekzio lanei jarriko diegu arreta. NBE, EB edota OECDren hainbat agentzia publiko eta lan-talde, nazioarteko elkarte akademiko eta sozialek, periodikoki, hainbat prospekzio interesgarri bezain zirikatzaile plazaratzen dituzte. Datozen hamarkadetakoko prospekzio horietan guztietan, aurreikusitako petrolio kontsumo, ekoizpen eta erreserbek paper nabarmena daukate. Ikusiko dugunez, iritzi kontrajarriak daude gai honetaz; katastrofista askok diotenaren kontra, ez dirudi petrolio urte askotan bukatuko denik -ziur aski ez da inoiz bukatuko, eta are gutxiago ikatza, ezta gas naturala ere-. Alabaina, orain arte gizateriak eskuragarri izan duen petrolio nahiko merke aterata zaio, eta erregai fosil merkeen agorpena hurbil dagoelako zantzu sendoak egon, badaude. Ikusiko dugunez, nazioarteko agentzia eta instituzio garrantzitsuenek sarritan guztiz argi hitz egin ez arren, plazaratutako txostenak lerro artean irakurriz gero,

argi gorri bat baino gehiago piztu beharko litzaizkiguke.

Egungo eredu energetikoaren iraunkortasun eta eutsigarritasuna zalantzan omen daude, eta hortik alternatibak bilatzeko beharra. Batetik, energia kontsumo mailak gorako joera mantentzen badu populazio eta jarduera ekonomikoaren hazkundeak bultzatuta, bestetik erregai fosilen eskaintza gero eta mugatuagoa bada, aise ondoriozta daiteke etorkizunerako eredu energetiko batean energia berriztagarriek paper garrantzitsu bat izango dutela. Bosgarren kapituluan, haiei eskainiko diegu arreta berezia. Horrela, haiek ere muga saihestezinak dauzkatela ikusteko aukera izango dugu, eta erakusten saiatuko garenez, berriztagarrietan oinarritutako energia kontsumoak maila askoz apalagoa izan beharko du, energia berriztagarrien potentzialitatea erregai fosilen erabilerarena baino apalagoa delako. Gainera, beste balizko eredu energetiko bateranzko trantsizioa gogorra izango da, ezinbestez. Energia sistemaren azpiegiturak berritzeko beharrezko inbertsioak izugarriak izango dira; beharrezkoen, ziur aski, energiaren urritasuna agerian geratzen hasten denean.

Baina trantsizioa ez da argitzeke geratzen zaigun kontu bakarra. Goazen helmuga ere, nahiko ezezaguna da. Gaurkoarekin alderatuta, guztiz desberdinak izango diren energiaren garraio eta ekoizpena gestionatzeko sistemak, oraindik, ez ditugu ezagutzen. Honekin lotuta, seigarren kapituluan, energia-sistemari buruzko eztabaida gehienetan guztiz zokoratuta geratzen den energia bektorearen arazoa aztertuko dugu.

Zazpigarren kapituluan, bukatzeko, etorkizunari begira, irizpide orokor batzuk biltzen saiatuko gara, datozen hamarkadetan energia urritasuna gero eta nabarmenagoa izango den mundu horretan ez galtzeko. Gizateriak etorkizuna izango badu, zibilizazioa,

ezinbestez, fluxu berriztagarrien erabileran oinarritu beharko da, baina kontuz!! Alde batetik, iraunkortasuna ziurtatzeko, energia kontsumo maila nabarmenki moteldu beharko da -ikusirik behar sistema ekonomikoak nola irensten duen hori!-. Bestetik, fluxu berriztagarrien ustiapen masibo bat gerta dadin zailtasun teknologiko, ekonomiko eta sozial asko daude. Erronka horiek guztiak aztertzeari ekin diezaiozun.

1. ENERGIAREN GAINEKO ARGIBIDE BATZUK

Energiaren definizio baterantz

Zer da energia? Orain dela gutxi arte, zientzialariek ez dute energiaren funtsa bere osotasunean atzeman. XX. mende hasieran, Albert Einsteinek energia eta masaren arteko lotura zuzen bat proposatu zuenean -fisio eta fusiozko energia atomikoaren oinarrian dagoena, alegia-, Einsteinen garaikide askok ez zuten batere argi ikusten erlazio famatua ($E=m \cdot c^2$). Nola izan zitezkeen energia eta masa gauza bera? Energia, masa bezain ugaria eta eskuragarria da? Kontua, benetan, korapilatsua da oso.

Energia mota asko daude, izaera oso desberdinekoak, eta definizio zehatz eta orokor bat lortzea zaila da. Alde batetik, esan dezagun energia, materiaren egoerarekin lotuta dagoen zerbait dela. Norbaitek esango luke energia, materiaren ezaugarri bat dela. Termodinamikan -energiaren biltze, eraldatze eta transferentzia ikertzen dituen zientzian- ohikoa da "sistema" kontzeptua erabiltzea. Han, materia beti agertuko da. Energia motaren arabera, materia eta energiaren arteko loturak oso desberdinak izango dira: energia eolikoaren kasuan, energia eroaten duen materia haizea da, eta energiaren funtsa haizearen abiaduran datza -energia zinetikoa-. Erregaien energia, aldiz, molekula barruko atomoen arteko lotura kimikoetan datza. Ikusten denez, zaila da energiaren definizio borobil bat lortzea.

Hala eta guztiz ere, zenbait baieztapen egin daitezke energiari buruz ari garenean. Hasteko, ez dago energia hutsetik sortzerik. Hau da, energia ez da deuseztatzen ezta sortzen ere -termodinamikako lehenengo legea-; energia, beti, mota batetik beste mota

batera eraldatzen da. Arrazoi horrengatik, *energia iturri* kontzeptua ez da batere egokia. Energiak ez dauka inoiz iturbururik. Modu askoz egokiagoan hitz egiteko, esan behar dugu Naturan *energia fluxuak* daudela, eta sarritan energia iturritzat hartzen ditugunak energia mota batetik beste baterako bihurgailuak baino ez dira.

Askotan, energia definitzeko orduan, energiaren erabileraren ondorioak aztertzea da bide egokiena. Era horretaz, energia, sistema fisiko batek lan mekaniko bat egiteko daukan ahalmenaz ulertzen da gehienetan. Zer da lan mekanikoa? Lan mekaniko arruntenetarikoa bat pisu bat jasotzea da, eta lana ere tresnak mugiarazteko behar dena da. Beste aldetik, energia, bero kontzeptuari estuki lotuta dago. Prozesu batzuetan energia bero bihurtzen da; beste sistema batzuek materiaren berotasuna erabiltzen dute lana burutzeko.

Edozein energia motari erreparatzen badiogu, konturatuko gara horren atzean beti beste energia mota bat agertzen zaigula. Egungo gizartean, energia kontsumitzen duen edozein prozesu arrunt aztertzean -zeinak argi bat piztetik edozein ibilgailu mugiarazteraino izan daitekeen-, agerian *energia-kate* bat azalduko zaigu aurrean. Energia-katea, energia mota desberdinen segida eta bata besterako eraldatze kateatua da. Edozein energia-katetan, elektrizitatea edota erregai fosilak agertzeko aukera asko daude. Eta ziur aski, energia-kate horren lehenengo kate-maila aurkitzen saiatzen bagara, Eguzki distiratsua bistaratuko zaigu aurrean.

Energia-kate kontzeptuaren erabilera ere oso aproposa da sistema energetikoa aztertzeko. Katearen luzerak energiaren fluxua adierazten du. Kate-mailak, fluxuan zehar agertzen den energia mota bana daude lotuta. Bi ondoz ondoko kate-maila artean, energia konbertsio bat, eta bihurgailu bat, aurkituko ditugu: energia elektrikoa energia mekaniko

bihurtzen duen motor elektrikoa; konbustioaren bidez erregaiaren energia kimikoa lehenengo energia termiko eta gero energia mekaniko bihurtzen duen barne-errekuntzako motorra; argi-izpiak energia elektriko bihurtzen dituen zelula fotovoltaikoa; eta abar.

Energia inoiz desagertu ez arren -beti beste energia mota batean eraldatzen baita-, energiaren fluxua ez da noranzko bikoia. Ideal ez diren sistema fisiko guztietan -hau da, mundu errealean-, energia eraldaketa bat gertatzen denean, eraldaketa ez da inoiz guztiz itzulgarria. Honen muina erraz azaltzea ez da batere erraza. Esana dugunez, energia mota desberdinak daude: haizearen energia zinetikoa, molekula barruko atomoen arteko energia kimikoa... baina energia eraldaketetan, energiarekin lotutako beste fenomeno batzuk ere agertuko zaizkigu: lan mekanikoa eta beroa. Hiru kontzeptuak (lan mekanikoa, beroa eta energia), funtsean, gauza beraren adierazpenak dira: energia. Haien arteko eraldaketak, baina, ez dira noranzko bikoak, ezta edozein baldintzatan posibleak ere. Pentsa dezagun goizero hartzen dugun kafesnearen kasuan. Kafesnea mikrouhin labean berotu ondoren, mahai gainean utziz gero, esnea epelduko da. Prozesuan, ingurua hotzagoa denez, likidoaren molekulek energia askatuko dute ingurunean, esnearen temperatura ingurukoarekin berdindu arte. Prozesu hau, bere kabuz, itzulezina da. Inork ez du esperoko, kafesne hotz bat mahai gainean utzita, momentu batean bero-bero aurkituko duenik. Prozesu energetiko guztien itzulezintasunaren atzean dagoen lege fisikoa -termodinamikako bigarren legea- hainbat modutan formula daiteke. Sinplifikatuz, guk esango dugu prozesu energetiko guztietan, energia erabilgarriaren zati bat galtzen dela bidean, beti. Galtzen den energia hori ez da desagertzen, baizik eta beste energia mota bat, erabilgarririk ez dena, bihurtu.

Termodinamikako bigarren legearen ondorioak garrantzi handikoak dira fenomeno fisiko-

kimiko guztietan. Itzulezintasunarekin oso lotuta, beste efektu bat izango zaigu: prozesu termodinamiko guztietan -energia tartean sartuta dagoen prozesu guztietan-, energiaren erabilgarritasunarekiko muga batzuk agertzen zaizkigu. Muga horiek ez daude teknologiarekin lotuta, eta prozesu fisiko-kimikoen funtsetan dautza. Saia gaitzen hori azaltzen.

Har dezagun kontuan barne-errekuntzako motorren kasua, edozein autotan aurki daitekeen motorrena. Hark, gasolina edo gasolioaren molekuletan dagoen energia kimikoa bihurtzen du lan mekaniko. Horretarako, lehenengo fase batean, erregaia erretzen da -energia kimikoa askatuz, eta energia termiko bihurtuz-. Askatutako energia, gasen molekulen mugimenduan datza. Motorrak, molekula beroen mugimendu kaotikoa mekanikaren bitartez bideratzen du, lan mekaniko bihurtuz. Lana sortutakoan, hondakin-gasak ihes-hoditik askatzen dira. Nahiz eta motorren teknologia oso aurreratua izan, konturatu behar dugu ihes-hoditik ateratzen diren gasen temperatura zero absolutua ez den heinean, 0 K, edo -273°C , askatutako energia kimikoaren zati bat galtzen ari dela: kasu honetan, bero moduan. Ihes-oditik -edo ikatzeko, edo gaseko zentral termoelektriko baten tximiniatik- askatzen diren gasen energia termikoa atmosferara isurtzen denean, energia hori ez da berriro erabilgarria. Atmosferan, gas-molekulen berotasuna arin banatzen da inguruko haize-molekulen artean eta ez dago hortik lan gehiago sortzeko aukerarik. Termodinamikoki, esaten dugu energiaren *entropia* -desordena, nahastea- handitu dela.

Energiaren eraldatze prozesu guztietan, mundu errealean, sistemaren entropia handitzen da, beti. Entropia, sistema batean dagoen *energia erabilgarriaren neurgailu* moduan uler daiteke. Sistema batean, degradatutako energia ez da berriro erabilgarririk lan gehiago

sortzeko. Puntu honetara itzuliko gara bihurgailuen efizientziak aztertzerakoan. Horren gainean, adierazgarria da bonbillaren adibidea. Argia sortzeko erabiltzen dugun gailu honen funtsa, Edisonek asmatu eta teknikoki ahalbidetu zuen. Edisonen lehenengo bonbillaren efizientzia %0,2koa baino ez zen. Horrek zera esan nahi du: bonbilla elikatzen zuen argindarraren %0,2 baino ez zuela argi bihurtzen. Energia elektriko ia guztia bero moduan zen galdua lehenengo bonbilletan. Egungo bonbilla teknologikoki garatuenean, %20 baino gehiagoko efizientzia dute, eta energia elektrikoa askoz hobeto erabiltzen dute argi bihurtzeko.

Ikusten denez, garapen teknologikoen eragin nabarmena daukate energia-katearen erabilera energetikoan. Energiaren erabilera hobekuntzak txertatuz gero, azken kontsumorako gelditzen den energia kopurua handitzen da, energia-katearen hasieran dagoen energia kopurua -energia primarioa- handitu barik. Alabaina, energia primarioaren eta azken kontsumoaren arteko aldea ez dago bakarrik hobekuntza teknologikoen menpean.

Energia motak

Energiaren kontzeptua argitzean, eztabaida korapilatzen dituen kontu bat zera da: energia kontzeptu bakarra izan arren, energia mota anitz daude.

Lehen esan dugunez, energia oso lotuta dago materiarekin, eta lotura hori, Naturan gertatzen diren lau oinarrizko indarrekin dago lotuta: indar elektromagnetikoa, indar grabitatorioa eta indar atomiko ahula eta sendoa. 1. taulak lotura horien adibide batzuk erakusten ditu. Adibide bakoitzean, tartean sartuta dauden materia eta oinarrizko indarra, baita energia non datzan ere, agertzen dira.

Materia	Non datza energia?	Oinarrizko indarra
Eguzkia (Hidrogenoa)	Energia nuklearra, materian bertan	Indar nuklearra
Petrolioia, ikatza, erregaiak	Energia kimikoa, atomoen arteko lotura kimikoan	Indar elektromagnetikoa
Haizea	Energia potentziala haizearen altueran, eta energia zinetikoa haizearen abiaduran	Indar elektromagnetiko eta grabitatorioa
Presaren baten ura	Energia potentziala uraren altueran	Indar grabitatorioa
Eguzki-izpiak	Energia elektromagnetikoa argi-fotoietan	Indar elektromagnetikoa

1. taula. Energia mota batzuk.

Eguzkiak bere materia bihurtzen du energia, prozesu termonuklearren bitartez. Haietan, hidrogenozko bi atomo bat egitean, heliozko atomo bat sortzen da; prozesuan, atomo barruko partikulen arteko indar nuklearrak askatzen dira; honekin batera, atomo berriak aurrekoek baino materia gutxiago izango du, eta aldea erradiazio elektromagnetikoko izpi moduan igortzen da. Eguzki-izpiek -argi-fotoiek-, energia garraiatzen dute hutsean zehar. Bero-erradiazioa erradiazio elektromagnetikoa da, argi ikusgaia baita x-izpiak eta irrati-uhinak ere diren bezala.

Hainbat prozesuren bitartez, energia modu batetik beste batera aldatzen da. Errekuntzaren bitartez, adibidez, erregaien molekuletan dagoen energia kimikoa askatzen da eta beste motatako bihurtu: energia elektromagnetiko -bero eta argia-, eta energia mekaniko -askatzen diren gasen molekulen mugimendua, zeinak, barne-konbustioko motor baten zilindroan, pistoia mugiaraziko duen-.

Energia mota gehienak *eguzki-energia* dira, energia-katean aurreko kate-maila bilatzean Eguzkiraino helduko baikara: energia eolikoa, hidroelektrikoa, fototermikoa, fotovoltaikoa, baita energia fosilak ere, guztiak eguzki-energia dira. Normalean energia berriztagarriak

eguzki-energiarekin lotzen ditugu. Alabaina, gas naturala, ikatza eta petroliotik ateratako energia ere Eguzkitik dator, zentzu orokor batean berriztagarritzat hartu ez arren. Erregai fosilak orain dela milioika urte izan ziren sortuak, prozesu fotosintetikoaren bidez biomasak atzemandako argi-izpietatik.

Energia berriztagarriak, ordea, Naturan agertzen zaizkigun energia-fluxu naturalak dira -haizea, Eguzkiaren argi-izpiak, fluxu geotermikoak edota ibaietako uraren jarioa-, Naturak, jarraiki eta modu iraunkor batean, *ordezkatzen dituenak*. Azken ñabardura hau garrantzizkoa da. Energia berriztagarri gehienak eguzki-energia dira, fluxu agortezin eta etengabekoetan atzemandako energia, eta modu iraunkorrean kontsumitu ahal dena, *baita kontsumitu behar dena ere*. Zentzu horretan, erregai fosilak eguzki-energia dira, baina ez berriztagarriak, zeren eta momentu bakoitzean, aurreragoan ikusiko denez, Naturak ordezkatzen duena baino askoz gehiago kontsumitzen baita munduan. Horregatik, eskuragarri dagoen energia berriztagarria mugatua da. Fluxuak direnak direla, energia kopurua handitzeko, denbora edota azalera fisikoa behar da.

Askotan, berriztagarritasunaren muga lausoa da, zeren, kontsumoaren iraunkortasuna eta eutsigarritasuna bermatu behar baita. Gizateriaren historiak esandakoaren adibide argiak eskaintzen dizkigu. Iraultza industrialak hasi baino lehen -XVI. eta XVIII. mende artean, batzuek *Izotz Aro Txikia* deritzotenean-, Europan zehar basoen egurra zen energia iturri nagusia; teknikoki, *biomasa* deitzen diogu. Urte hauetan Europan gertatu zen baso-ustiapen horren ondorioz, baso gehienak desagertu ziren. Biomasaren kontsumo hori, kontsidera daiteke energia berriztagarrien kontsumoa? Ziur aski, ez. Energia berriztagarriari buruz hitz egitean, oso garrantzitsua da kontsumo maila kontuan hartzea. Kontsumo mailak iraunkorra eta eutsigarria izan behar du berriztagarritzat hartzeko.

Zenbat energia dago eskuragarri?

Eguzkitik heltzen zaigun energia-fluxua izugarria da. Eguzki-energiaren potentzialitatea nabarmentzen duten txosten guztien artean, argudioa ohikoa da⁸:

Karbono gabeko energia-iturri guztien artean, Eguzkiaren erradiazioak zati handiena ematen du, alde nabarmenarekin. Lurrak Eguzkitik ordu bakar batean atzematen duen energia ($4,3 \times 10^{20}$ joule), planetan urte oso batean kontsumitzen dena ($4,1 \times 10^{20}$ joule) baino gehiago da -joule (J), energiaren nazioarteko unitatea da-.

Hala eta guztiz ere, aipatutako txostenaren arrazoibidea zehaztu behar da. Eguzkitik atzemandako energia kopurua itzela eta egundokoa izanik, horren ustiapena txertatzeko, beste ondorio larri batzuk hartu behar dira kontuan. Muturreraino eramanez, esan dezagun zer ekarriko lukeen Eguzkitik heldutako energia guztia jasotzeak:

- a) Lurra eta Eguzkiaren artean, dispositibo bihurgailu erraldoi bat -Lurraren tamainakoa- jarri beharko genuke, energia atzemateko: zelula fotovoltaiko erraldoi bat, adibidez.
- b) Energia osoa atzemango balitz, ez litzateke Lurraren atmosferaraino sartuko, planetaren klima eta bizitzari ondorio larriak eraginez.
- c) Hau guztia gertatu baino lehen, zelula fotovoltaiko erraldoia fabrikatu eta espazioan kokatu beharko zen; horretarako, energia pilo beharko litzateke: kostu energetiko eta ekonomikoak itzelak izango lirateke, balizko ustiapena hasi baino lehen

8 *Basic Research Needs for Solar Energy Utilization*, Office of Science, U.S. Department of Energy, 2005eko apirila, ix. or.

aurreratu beharko liratekeenak.

Eguzki-energiaren ustiapena bideragarri izateko, teknikoki bideragarria, energetikoki egingarria, eta klimarengan ondorio larririk gabekoa izan behar da. Eguzkitik jasotakotik zenbat dago, benetan, eskuragarri? Hurrengo lerroetan, esku artean dauzkagun energia kopuruen tamainaz jabetzen saiatuko gara.

Energia zenbateko batzuk (I)	Energia unitatea: Joule (J)	
Lurrak jasotzen duen urteko eguzki-energia, atmosferatik kanpo	$5,43 \times 10^{24}$ J	100
Lurraren azaleraraino heltzen den urteko eguzki-erradiazioa	$2,81 \times 10^{24}$ J	52
Urteko uraren zikloa, Lurrean	$1,26 \times 10^{24}$ J	23
Urteko haize-energia	$5-15 \times 10^{22}$ J	1-3
Biomasak harrapatzen duen energia, urtean	$1,7 \times 10^{21}$ J	0,031
Urteko Lurraren energia geotermikoa	$1,26 \times 10^{21}$ J	0,023
Munduko urteko energia primarioa (komertziala)	$4,5 \times 10^{20}$ J	0,008
Urteko ibaien energia	3×10^{20} J	0,006
Urteko petrolio kontsumoa	$1,78 \times 10^{20}$ J	0,003
Urteko kontsumo elektrikoa, munduan	6×10^{19} J	0,001
Gizateriaren urteko elikadura	2×10^{19} J	0,001
Ongarri nitrogenodunen urteko ekoizpena	$6,3 \times 10^{18}$ J	0,0001

kontzeptu guztiak, mundu mailan

2. taula. Energia zenbateko batzuk (I).

Egia da Lurrak bidean Eguzkitik erradiazio moduan atzematen duen energia kopurua izugarria dela: urtean zehar, $5,43 \times 10^{24}$ joule. Alabaina, horren erdia baino ez da Lurraren azaleraraino heltzen: gutxi gorabehera, %52. Beste alde batetik, urtean gizateriak komertzialki kontsumitzen duen energia kopurua askoz mugatuagoa da: ia 5×10^{20} joule,

hau da, 500 exajoule (500 EJ), energia osoaren %0,008. Aurrekoaren aldean, kopurua askoz txikiagoa da, baina konturatu behar dugu komertzialki salerosten dena –energia merkatuetan- ez dela kontsumitzen den energia bakarra. Eguzkitik jasotzen dugun energia erabiltzen da, baita ondo erabili ere: %23k, adibidez, azaleraraino heltzen denaren ia erdiak, Naturaren uraren zikloa mugiarazten du. Gizateriak, presa hidroelektrikoen bitartez, fluxu honen zati bat atzematen du energia hidroelektrikoa sortzeko. Munduko haizeak eragiten dituen energia apalagoa da, %1 eta 3 artekoa baino ez, baina oraindik komertzialki salerosten dena halako ehun baino gehiago.

Aipatutakozenbatekoak itzelak dira, baina ez daude eskuragarri: lehen esan dugunez, atzemateko, planetaren tamainako dispositibo fisiko bat beharko genuke; gainera, hori posible balitz, gure planetan klima aldaketa guztiz katastrofiko bat gertatuko litzateke.

Eguzkitik jasotzen den energia gehiena guztiz beharrezkoa da, planeta, ezagutzen dugun moduan –hau da, planeta biziduna-, manten dadin: adibidez, ur zikloa eragiten, atmosferaren tenperatura tarte zehatz baten barruan mantentzen, eta abar. Benetan eskuragarri dagoen energia, Eguzkiak ematen duena baino askoz gutxiago da. Erreferentzia moduan, oso kontuan hartzekoa da biomasak -gure planetako *masa bizidunak*- urtean zehar atzematen duen energia kopurua, fotosintesiaren bitartez: $1,7 \times 10^{21}$ joule, energia osoaren %0,031, 1.700 EJ. Gizateriaren kontsumo komertziala 450 EJ da, aurrekoaren %26 baino gehiago. Izan ere, kontsumo komertziala planetako ibaien urteko energia osoa baino gehiago da, 300 EJ. Gizateriaren urteko elikaduraren eduki energetikoa, bere aldetik, 20 EJ baino ez da.

Datu hauetatik guztietatik gizateriaren kontsumo globala egiazki izugarria dela ondoriozta

daiteke. Kontsumo komertzial primarioan, petrolioaren pisua nabarmena da. 450 EJ-etatik, 178 EJ petrolio kontsumoari dagozkio. Gizateriak kontsumitzen duen petrolio, energetikoki, Lur planetan *organismo bizidunek* atzematen dutenaren hamarren bat bezainbeste da, baita planetaren energia geotermikoaren hamarren bat baino gehiago ere, zeinak mundu osoko sumendien aktibitatea eta lurrikaren bidez azaleratzen den plaka tektonikoen mugimenduak barruan hartzen dituen.

Energia zenbateko batzuk

Energia neurtzeko, *joule* (J) unitatea erabiltzen dugu. Joule unitate txikia denez, kontabilitate energetikoetan normalean unitate handiagoak erabiltzen dira. Elektrizitatearen kontsumoa neurtzeko, adibidez, ohikoa da *kilowatt-ordu* (kWh) erabiltzea. Kilowatt-ordu bat 3.600 joule dira. Hala eta guztiz ere, kilowatt-ordua oraindik unitate txikia da. Munduan petrolio energia-iturri nagusienetariko bat denez, komertzialki, beraren kantitate zehatz batek duen energia termikoa hartzen da neurritzat. Erreferentzi kantitatea tona da, eta horrela, estatistiketan *tona petrolio baliokide* (tpb) erabiltzen da energiaren kontsumoa neurtzeko. Tona petrolio baliokide bat 42 mila milioi joule da (42 GJ, $4,2 \times 10^9$ J). Askotan, pisua (tona) ez baizik eta petrolioaren bolumena hartzen da neurritzat. Orduan, *petrolio upelak* erabiltzen dira energia neurtzeko. Upel bat 159 litroko bolumena da.

3. taulan, substantzia batzuetako dentsitate energetikoak erkatzen dira. Gasolinaren energia dentsitatea, kilogramoko, 46 MJ-koa da, petrolioarena baino pixka bat altuagoa (42 MJ/kg). Nahiko hedatua da petrolioaren deribatuen dentsitate energetikoa izugarritzkoa delako ideia. Alabaina, ideia hori zehaztu beharra dago. Oso altua izanik, dentsitate maila bereko beste gai asko aurki daitezke gure inguruan. Landare-olio guztien dentsitatea

antzekoa da, eta elikagai energetikoenek, esate baterako gurinak (30 MJ/kg) edo zerealek (15 MJ/kg) badauzkate petrolioarenarengandik oso urrun ez dauden dentsitate energetikoak.

Energia zenbateko batzuk (II)	Energia unitatea: Joule (J)	
1 tona petrolio baliokide (tpb)	4,2x10 ¹⁰ J	42 GJ
1 upel petrolio (159 litro)	5,73x10 ⁹ J	5,73 GJ
1 kg hidrogeno	1,14x10 ⁸ J	114 MJ
1 kg gasolina	4,6x10 ⁷ J	46 MJ
1 kg gurina	3x10 ⁷ J	30 MJ
1 kg zerealak	1,5x10 ⁷ J	15 MJ
1 kg hidrogeno (bonbona kontuan hartuta)	8x10 ⁵ J	800 kJ
Bateria elektrikoaren dentsitatea(kg ⁻¹)	0,9-5x10 ⁵ J	90-500 kJ
AA motako pila alkalinoa	1x10 ⁴ J	10 kJ

3. taula. Energia zenbateko batzuk (II).

Izan ere, taularen goiko aldera begiratzen badugu, beste substantzia bat agertuko zaigu, zeinaren energia dentsitatea petrolioarena baino altuagoa den, 114 MJ/kg-koa. Hidrogenoaren energia petrolioarenaren bi halako baino gehiago da. Han datza seigarren kapituluan gogora ekarriko dugun *hidrogenoaren ekonomiaren* ideia⁹, batzuen ustez etorkizunean gizateriaren energia-sistemaren funtsa izango dena. Dena dela, hidrogenoaren ekonomiaren bideragarritasuna aski eztabaidatua da, gehiegikeri hutsa -ingelesez *hype* deritzotena- kontsideratua izateraino. Beste eragozpen batzuen artean, hidrogenoa gas arinena da, eta horrek ondorio larriak ekartzen ditu dentsitate energetikoari buruz hitz egiterakoan. Gasolinaren kasuan gertatzen denaren kontra, hidrogenoaren egoera naturala ez da likidoa. Hidrogenoa gordetzeko, ontzi bat da

9 Jeremy Rifkin, *La economía del hidrógeno*, 2002.

beharrezkoa -bonbona-, eta edukiontzia-aren pisua kontuan hartzen bada -bideragarritasun teknikoaren benetan balioetsi nahi bada guztiz beharrezkoa dena-, hidrogenoaren energia dentsitatea guztiz aldatzen da: taulan aurkitzeko, beheko aldera begiratu beharko dugu: 0,8 MJ/kg, gasolinarearen %2 baino baxuagoa. Energia biltzeko aurki ditzakegun substantzia edo dispositiboaren artean, energia elektrikoa biltzeko erabiltzen direnak soilik -bateria elektrikoak, alegia- daukate dentsitate gutxiago, barruan hidrogenoa sartuta daukan bonbona batek baino. Bateria elektrikoaren energia dentsitatea, gasolinarearen %1en inguruan dabil, hain justu. Etorkizuneko garraio-eredua eztabaidagai dugun honetan -autoak etorkizunean elektrikoak, gasolinazkoak, hibridoak ala hidrogenozkoak izango ote diren honetan-, alternatibei buruzko eztabaida zintzo batean ezinbestekoa izango da gasolina, hidrogenoa edota elektrizitatea biltzeko bideragarritasun teknikoak oso kontuan hartzea, benetako gakoa izango ez bada.

Egun, energia ongi bildu eta garraiatzeko, hainbat aplikaziotan -eta garraioarena lehentasunezkoa da-, hidrogenoa eta elektrizitatea ez dira batere lehiakorrik petroliotik ateratako deribatuen aldean. Are larriagoa dena, etorkizunean ez dirudi aurrerakuntza tekniko nabarmenik gertatuko denik arlo horretan. Gogora dezagun auto elektrikoarena ez dela joan den hamarkadako buruhausterik, baizik eta Edison eta Forden arteko liskar adiskidetsuaren oinarria, orain dela ehun urte.

Azken batean, honetan datza erregai fosil likidoen garrantzia: haien dentsitate energetikoa altua izateaz gain, era oso errazean garraiatu, bildu eta ontzi batetik beste batera mugitzen dira, egoera arruntetan likidoak direlako.

Egun, petrolio deribatuen baliokide zuzen bakarrak, landare-olioak dira. Ezaugarri fisiko-

kimikoak oso antzekoak dira -azken finean, iturri berekoak: landareen fotosintesia-. Alabaina, bideragarria litzateke balizko ordezkatzeko prozesu hori? Lehenago esan dugunez, planetako biomasak fotosintesiaren bitartez urtean zehar atzematen duen energia kopurua, gizateriaren kontsumo komertziala halako lau da. Bosgarren kapituluan bioerregaiak ikuskatzerakoan sakonago aztertuko dugunez, ordezkatzeko prozesu hori guztiz ezinezkoa izango da kontsumo maila mantendu nahi bada.

Potentzia

Ikuspuntu fisiko batetik, potentzia zera da: denbora-unitateko egiten den lana, edo denbora-unitateko lekuz aldatzen den energia. Potentzia unitatea *watt* da (W). Lana burutzeko tresnen gaitasuna ere watt-etan neurtzen da. Lana burutzeko energia behar denez, denbora-unitateko energiaren kontsumoa ere watt-etan neurtzen da. 4. taulan potentzia zenbatekoko adibide batzuk erakusten dira, bai sorkuntza bai kontsumoaren ikuspuntutik.

70 kg-ko pertsona baten oinarrizko metabolismoak bizitza suspertzeko behar duen energia kontsumoa 80 W-ekoa da, bonbilla arrunt baten kontsumoa, hain justu. Gizaki batek lan jarraitua egiteko daukan ahalmena ere tarte horretan topa daiteke, 70 eta 200 watt bitartean; eliteko kirolariek ahalegin gorenean garatzen duten potentzia -imagina dezagun Perurena 200 kg-ko harria jasotzen- 2.000 watt (2 kW) artekoa izan daiteke¹⁰.

Naturaren prozesu guztietan gertatzen den bezala, giza ekintza guztiek ere energiaren eraldaketak dakartzate. Are gehiago, gizateriaren hainbat arlotako aurrerapenak -ez bakarrik arlo teknologikokoak, baizik eta arlo sozial, ekonomiko eta baita kulturalakoak

10 Vaclav Smil. *Energies. An Illustrated Guide to the Biosphere and Civilitation*, 1998, 79-92 or.

ere-, zibilizazio guztiek energia fluxu eta baliabide material gehiagoren araketetan egindako hobekuntzak bezala ikus daitezke¹¹; hori bai, beste materialismo huts eta inozo batean ez erortzeko ardura guztiak hartuta.

Potentzia zenbatekoko adibide batzuk	Potentzia unitatea: Watt (W)
Eguzkiaren potentzia, atmosferatik kanpo	$1,72 \times 10^{17}$ W
Eguzkiaren potentzia, Lurraren azalera	$8,81 \times 10^{16}$ W
Lurraren potentzia geotermikoa	4×10^{13} W
Potentzia hidroelektrikoa, munduan	$7,76 \times 10^{11}$ W, 776 GW
Potentzia nuklearra, munduan	$3,61 \times 10^{11}$ W, 361 GW
Potentzia elektrikoa, Espainian	$6,9 \times 10^{10}$ W, 69 GW
Potentzia eolikoa, Espainian	$9,8 \times 10^9$ W, 9,8 GW
Boroako zentrala (ziklo konbinatuko zentrala)	8×10^8 W, 800 MW
Garoñako zentrala	485×10^6 W, 485 MW
Azken belaunaldiko aerosorgailua	2×10^6 W, 2 MW
Autoa (100 CV)	75 kW
Perurena, 200 kg-ko harria jasotzen	2 kW
Zaldi bat	700 W
70 kg-ko pertsona baten metabolismoa	80 W
Pertsona baten ahalmena, lan jarraitua egiteko	70-200 W

4. taula. Potentzia zenbatekoko adibide batzuk.

Gizarte primitiboetan giza indarra baino ez zegoen eskuragarri, eta eskuz burututako laborantza eta uztak eman zezaketen produktuen mugatasunak herrien tamaina, egitura soziala eta bizi baldintza orokorrak hesitzen zituen, hein handi batean. Mendeetan zehar, nekazaritzan gurdi-abereak erabiltzen hasteak egundoko aurrerapena ekarri zuen. Zamabereak uztarrira lotzeko erabili ziren tekniken arabera, 300 eta ia 1.000 watt bitarteko potentziak eskuratzen ziren, gizon-emakumeen lan fisikoa arintzen, eta haien jarduera beste arlo batzuetara zabalduz. Zaldi baten potentzia, pertsona batena halako zazpi da,

11 Gizateriaren historian zehar, energia fluxuen ustiapenak izan duen bilakaeraren berri zorrotz bezain atsegin bat izateko, ikus Vaclav Smil, *Energy in World History*, 1994.

eta zaldien papera zamabere moduan hain izan da garrantzitsua mendebaldeko gizartean, ezen James Wattek lurrun-makina XVIII. mende amaieran merkaturatu zuenean, tresna berriaren potentzia neurtzeko, zaldiarena hartu baitzuen erreferentziazat, *zaldi-potentzia* terminoa sortuz (1 ZP=746 watt).

Beste aldetik, azken bi mila urteetan gizakiek beste irtenbide teknologiko batzuk jarri zituzten martxan energia fluxu naturalak modu erosoan prozesu produktiboetan txertatzeko. Erromatar zibilizazioak aurrerakuntza nabarmenak burutu zituen ur-erroten erabileran, zamabereek garatu ahal zuten potentzia aise gainditzeko; 1.000 urterako, gurpil hidraulikoek garatutako potentzia kilowatt batzuetakoa zen, hainbat prozesu industrialetan aurrerapen nabarmenak eragiten: burdin eta beste metalen galdaketan, zerealen ehoketan, eta abar. Uraren energia hidraulikoaren potentzialitatea ere, handia da, teknologia egokia erabiliz gero: *Lady Isabella* izeneko ur-gurpil erraldoiak, 1854 urtean eraikitako 22 metroko diametroko instalazioak, 200 kW-eko potentzia garatzen zuen¹², bitarteko guztiz mekanikoen bidez. Haize energiaren atzemateak ere, urtean zehar, potentzia zenbateko garrantzitsuak jarri zituen gizakien eskura. Haize-errotak Persian hasi ziren zabaltzen, VII. mendean. X. menderako, Asia eta Europako hainbat eskualdetan ziren barreiatuak, eta garai horretako 1 kW baino gehiagoko haize-errotak, zerealak ehotzeko erabiltzen ziren, gehienbat. Haize-errotak handienek 10 kW-eko potentzia gainditzeko zuten. Hau guztiau itsas garraioan haizeak orain gutxi arte -eta oraindik leku askotan- bete duen oinarrizko funtzioa ahaztu barik, belaontziak ezinbestekoak izan baitira garraioan, gudan eta esplorazioetan, mendeetan zehar.

Hala eta guztiz ere, energia eta potentziaren eskuragarritasunari dagokionez, benetan

12 Vaclav Smil, *Energies. An Illustrated Guide to the Biosphere and Civilization*, 1998, 120. or.

diferentzia markatu zuena erregai fosilen erabilera masiboa izan zen: ikatza lehenengo eta petrolioa gero, zeinen kontsumoa, beranduago, gas naturalarenarekin osatuko zen. Erregai fosilen dentsitate energetiko altuen kariaz, haien energia termikoa erabiltzeko tresnak teknologikoki garatu zirenean -lurrin-makina, barne-errekuntzako motorra, turbinak-, gizateriak, lana burutzeko eta Naturan eragiteko ahalmen izugarria eskuratu zuen, lehenago guztiz pentsaezina izango zatekeena. Ikatza lurrin-makinetan XVIII. mendean erabiltzen hasi arte, gizateriak eskuragarri zituen energia-fluxuak guztiz berriztagarriak ziren: gurdi-abereak, haize-errotak, ur-errotak, eta giza-indarra. *Motor primario* deituriko horien potentziak, baina, oso txiki geratzen dira erregai fosilen erabileran oinarrituta aurki ditzakegun energia-konbertsore askoren aldean. Guztiz arrunt izan daitekeen 100 zaldiko auto baten motorrak 75 kW-eko potentzia gara dezake azeleragailua sakonean zapaltzen dugunean. Sorkuntza elektrikoari dagokionez, erregai fosilak erabiltzen hasi zirenean, sorkuntza sistemetako potentzia beste maila batean sartu zen. Edisonen lehenengo zentral termoelektikoaren lurrin-makinek bana 5 milioi watt (5 MW, 5 megawatt) garatzen zituzten. Azken belaunaldiko aerosorgailuak ere tarte horretan sartzen dira: bakoitzak, haizea abiadura egokienean dabilenean -20 metro segundoko- 2 MW-eko potentzia garatu ahal du.

Haatik, potentziari buruz ari garenean, aerosorgailuen tamaina txiki geratzen da sorkuntza termoelektrikoko zentralen ondoan, hauek GW-eko tartera eramaten baikaituzte. Munduko ia 400 zentral nuklearretako potentziak, 500 MW eta 1.000 MW (1 GW, gigawatt bat) bitartean kokatzen dira. 2009. urtean itxi beharko luketen Garoñako zentralak, kasu, 485 MW garatzen du %100ean funtzionatzen duenean. Erregai fosilak dituzten zentral termoelektikoak ere 1 GW-eko tamaina inguruan daude. Sorkuntza elektrikoan, GW-eko muga aise gainditzen dituzten zentralak, hidroeletriko erraldoiak dira: Txinako Jangtze

ibaian kokatuta dagoen *Hiru arroilen presa* 2003an jarri zuten martxan, eta 2009an, eraikitze fasea burutzen denean, 18,2 GW-eko potentzia garatu ahal izango omen du.

Espainiak sorkuntza elektrikorako instalatuta daukan potentzia, guztira, ia 78 GW-ekoa da¹³. Munduan, 2003an, potentzia nuklearra 361 GW-ekoa zen¹⁴, eta hidroelektrikoa, 2002an, 776 GW-ekoa¹⁵. Beste aldetik, Eguzkiak Lurraren azalean garatzen duen potentzia egundokoa da: ia ehun milioi GW. Baina oso kontuan hartzekoa da guztiz barreiatuta dagoela. Egoera egokienean -udako egun distiratsu baten eguerdian- eguzki-erradiazioa, itsaso mailan, 1 kW da metro karratuko. Eguzkiaren mugimendua kontuan hartuta -gauean ez dago argirik; neguan erradiazioa zeharago heltzen zaigu udan baino-, batez besteko eguzki-erradiazioa 170 W/m^2 da. Erregai fosilen zentral termoelektrikoen funtzionamenduan gertatzen denaren kontra, eguzki-erradiazioan oinarrituta GW-eko mailaraino heltzeko beharrezko eremuak hainbat kilometro karratukoak dira.

Efizientzia

Lehenago esan dugunez, energia-katean zehar, energia, mota batetik bestera aldatzen da. Eraldaketa horiek prozesu (konbustio, gas baten espantsio, erreakzio kimiko, fisio nuklear...) eta tresna (motor elektriko, turbina, pila...) ezagun batzuen bitartez burutzen dira. Eraldaketa bakoitzean, bidean, beti, energia zati bat galtzen da: energia-katearen hurrengo kate-mailan, lehengoan zegoena baino energia erabilgarri gutxiago izango dugu eskuragarri. Energia erabilgarriaren murrizketa, hala eraldaketa motaren nola sistema fisiko eraldatzailearen mendean egongo da. Energiaren eraldaketetan, beti, efizientziari

13 *EL SISTEMA ELÉCTRICO ESPAÑOL. Avance del informe 2005*, Red Eléctrica de España, 2005eko abendua, 7. or.

14 *KEY WORLD ENERGY STATISTICS 2005*, International Energy Agency, 17. or.

15 *Ibid.*, 19. or.

buruz behar da hitz egin.

Efizientzia ez da inoiz %100. Askotan, efizientiaren mugak teknologikoak dira. Adibidez, gaurko aerosorgailuak XVIII. mendeko haize-errotak baino hobeto aprobetxatzen dute haizearen energia zinetikoa, askoz efizienteagoak dira: hegalen diseinua zainduagoa da eta erabilitako materialak hobeak, marruskadura galerak askoz txikiagoak, eta abar. Hobekuntza teknikoen bitartez, efizientzia igoera nabarmenak gertatu dira modu jarraituan, energiaren erabilerarekin lotutako teknologia guztien kasuetan, zamabereen uztarren diseinutik hasita, azken belaunalditako aerosorgailu edo ziklo konbinatuko zentralen diseinura arte.

Baina badaude beste muga batzuk, teknologikoak ez direnak. Aerosorgailuen adibidera itzuliz, konturatu behar dugu ezinezkoa dela haizeari energia zinetiko osoa kentzea. Zergaitik? Horrela gertatuko balitz, aire osoa aerosorgailuaren ondoan pilatuko litzateke, eta hori ez da posible. Haizeak, aerosorgailuaren hegalen artean pasatzean, hegala mugiarazten ditu, bere abiadura nabarmen jaitsiz. Holako zerbait gertatzen da sorkuntza termoelektrikoan ere. Litro bat gasolinak 42 MJ-eko energia termikoa dauka, baina auto baten motorrak ezin du energia hori guztia mugimendu mekaniko bihurtu, nahiz eta teknologikoki galerak txikiak izan. Energia termikoaren zati garrantzitsu bat beti aterako da gas-hoditik, handik ateratako gasen molekulak bero izango direlako. Hala eta guztiz ere, desberdintasun handiak aurkituko ditugu hainbat prozesu eta tresnen efizientziak konparatzerakoan. 5. taulan, eraldaketa eta dispositibo batzuen efizientziak erakusten dira.

Efizientziak

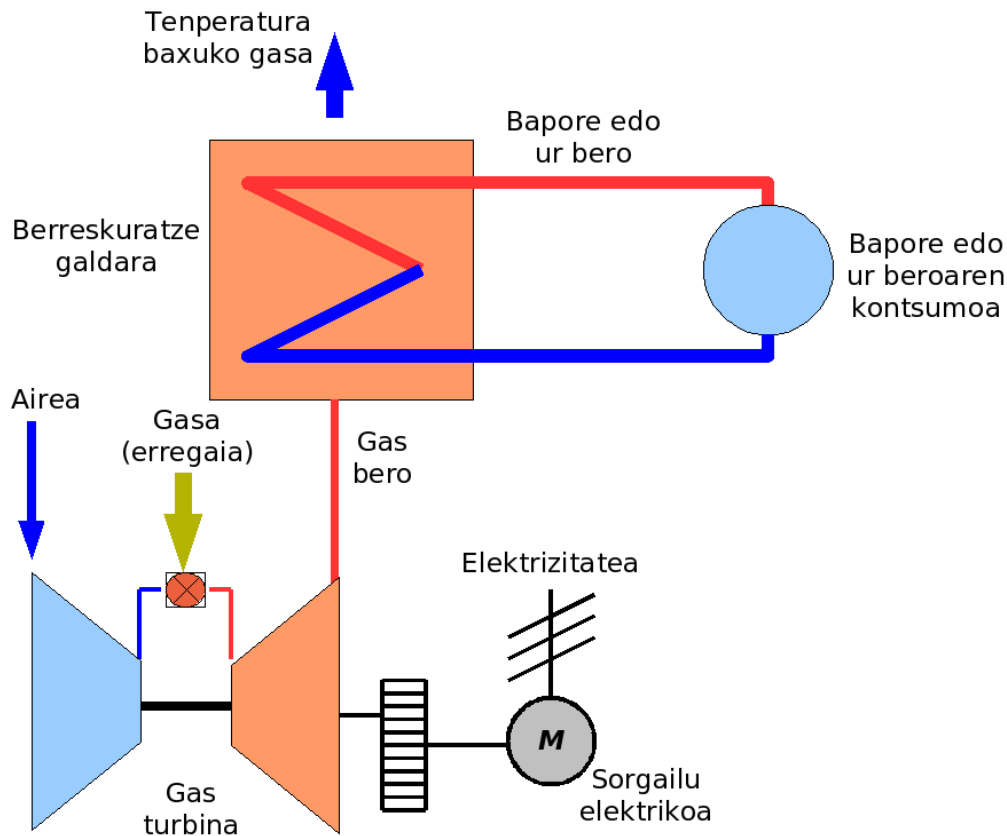
Motor elektrikoa	%60-95
Elektrizitatearen garraioa	%80-90
Elektrolisia (H ₂ sortzeko)	%70-80
Erregai-pila	%75
Ziklo konbinatuko zentrala	%70
Aerosorgailua	%50
Zentral termoelektriko klasikoa	%45
Diesel motorra	%30-35
Gasolinazko motorra	%15-25
Zelula fotovoltaikoa	%15-25
Fotosintesiaren efizientzia netoa	%0,1-4

5. taula. Zenbait tresna eta prozesuren efizientziak.

Gasolinazko motorraren efizientzia %15-25 tartean kokatzen da. Diesel motorrarena pixka bat altuagoa da, %30-35. Zentral termoelektriko klasikoen efizientzia altuenak %45 inguru dabilta, lehen esan dugunez, erregai fosilen energia termiko guztia erabiltzerik ez dagoelako. Zentral nuklearrak ere, sorkuntza termoelektriko klasikoaren multzoan sartzen dira.

Funtsean, barruan errekuntza -prozesu termikoa- ez daukaten prozesu energetikoek efizienteagoak izateko joera daukate. Prozesu termikoetan muga termodinamiko murriztagoak agertzen dira, beste izaera bateko prozesuetan baino.

Alabaina, konbustioaren prozesuarekin lotura duten teknologia energetikoen artean, badago salbuespen bat, taularen erdian ikus daitekeenez. Funtsean gas naturalaren errekuntzan oinarritutako ziklo konbinatuko zentral baten efizientzia, Boroan berriki eraikitakoarena kasu, %70 da, printzipioz zentral termoelektriko klasikoen efizientziatik hogeita bost puntu gorago.



1. irudia. Baterako sorkuntza.

Ziklo konbinatua, modu orokorrago batez *baterako sorkuntza* deiturikoaren kasu espezifiko bat baino ez da. Baterako sorkuntzaren oinarria oso sinplea da: lehenengo eraldaketa batean sortutako hondarren energia, bigarren prozesu energetiko batean berriro eraldatzen da, hasieran eskuragarri dagoen energia hobeto erabiliz (ikus 1. irudia). Azken buruan, bi energia eraldaketa kateatzea da baterako sorkuntzaren muina. Eman dezagun tximiniatik ateratzen diren gas beroak erabiltzen direla ur sanitarioa berotzeko, edota berokuntza hornitzeko, berreskuratze galdaran (ikus 1. irudia). Bigarren eraldaketa honetan ezin izango da gas beroen energia osoa atzematea, baina bai efizientzia netoa nabarmen igotzea. Baterako sorkuntzak, normalean, bi mota desberdineko energia

sorkuntza uztartzen ditu: elektrizitatea eta ur bero, adibidez. Alabaina, bada posible sortutako energia osoa elektrikoa izatea, ere bai: sorkuntza termoelektriko klasikoari, segidan, beste eraldaketa termoelektriko bat atxikitzen bazaio, efizientzia ia bikoizten duen *ziklo konbinatua* lortzen da, Euskal Herrian berriki hainbeste ugaritu diren azken belaunaldiko gaseko zentral termiko horietako bat.

5. taularen goiko aldean, elektrizitatearekin lotutako fenomenoek eta tresnen efizientziak agertzen zaizkigu. Motor elektrikoek efizientziak %60-95 tartean kokatzen dira, tamainaren arabera -orokorrean, motor elektrikoak handiagoak diren heinean, efizienteagoak ere badira-. Gogora dezagun zentral hidroelektrikoek motor elektriko erraldoiak erabiltzen dituztela ur jauzietan uraren energia mekanikoa elektrizitate bihurtzeko. Motor elektrikoek barne-errekuntzako motorren efizientziak laukoizten dituzte; ziur aski datu hau izango zen Edisonek gogoan zeukana, Forden aurrean auto elektrikoek aldeko defentsa sutsua egiten zuenean. Hidrogenoa -baita kasu batzuetan metanoa ere- elektrizitate bihurtzen duten *erregai-pilen* funtzionamenduan ere ez dago konbustiorik, seigarren kapituluan ikusiko denez, energia bektoreen gaineko eztabaidan hidrogenoaren sorkuntza eta erabilera aztertuko ditugunean. Erregai-pilek hidrogenozko molekulen energia kimikoa modu nahiko efizientez bihurtzen dute elektrizitate: %75, kasu onenetan. Beste norabideko eraldaketa energetikoa, elektrolisia -zeinaren bitartez energia elektrikoa erabiltzen den ur molekuletako oxigeno eta hidrogenozko atomoak banantzeko-, efizientzia tarte berean sartzen da: %70-80. Balizko hidrogenoaren ekonomia batean elektrolisia ezinbestekoa izango litzateke erregaia lortzeko, hau da, hidrogenoa.

Efizientziaren kontua, pentsa daitekeen baino munta handiagokoa da. Europako

Batzordeak plazaratutako *Efizientzia energetikoari buruzko Liburu Berdeak*¹⁶ argi eta garbi adierazi zuen, 2005ean: 2020ra arte efizientziaren hobekuntzarekin lotutako politika eta neurri egokiak hartuz gero, urte horretan aurreztutako energia 360 milioi tona petrolio baliokide izan liteke, 2005ean Europako Batasunean (EBn) kontsumitutako energia primarioaren %20, hain zuzen. Liburu Berdeak, eraldaketa energetikoetan galdutakoa, energia osoaren %29-tan balioesten du. Aldi berean, elektrizitatearen sektorean, batez besteko galera energetikoak %66 dira. Hau da, ekoizten den kilowatt-ordu bakoitzeko, beste bi baliokide geratzen dira bidean: sorkuntzan eta garraioan, azken kontsumoa kontuan hartu gabe. Horregatik, Europako Batzordeak ziklo konbinatuen bidezko sorkuntza elektriko eta sorkuntza bateratuaren erabilera lehenesten ditu, beste neurri askorekin batera. Bonbilla efiziente batek, beste arrunt batek baino bost aldiz gutxiago kontsumitzen du. Autoaren pneumatikoak egoera egokian mantenduz gero, kontsumoa %5ean murriz daiteke. Hainbat esparru desberdin daude efizientzia energetikoa nabarmen hobetzeko.

Oso kontuan hartzekoa da 5. taularen amaieran agertzen den datua. Fotosintesiak eguzki-erradiazioa atzematen du landareen ehunetan, energia kimiko bihurtuz. Gure planetako bizitzaren kate energetikoan, fotosintesia da lehenengo katea-maila. Fotosintesia da Lur planetako bizitzaren prozesu oinarrizkoena. Materia biziduna sortzen du materia bizigabetik, atmosferako oxigeno erreterbak berritzen ditu, eta eguzki-erradiazioaren energia biltzen du energia kimiko moduan, organismoen bizitzako jarduerak suspertzeko erabiliko dena. Fotosintesi barik ez dago bizitza ulertzerik, eta zoragarria da nola Naturak lortu duen erradiazioa atzematen duten molekula eta prozesu kimikoak garatzea, orain dela ez hainbestetik zientzialariek ulertzen dituztenak.

16 *Cómo hacer más con menos. Libro Verde sobre la eficiencia energética*, Europako Batzordea, 2005eko ekaina.

Fotosintesi prozesua liluragarria da: sinplea -landare berdeguneetan aurki daitezkeen molekulek argi-izpiak zuzenean energia kimiko bihurtuz, beste eraldaketa mota batzuek behar dituzten baldintza fisiko eta behar teknologiko saihestuz-; eraldaketako dispositiboak, hostoak eta orokorrean materia berdea daukan edozein landare-ehun, txiki- txikiak izan daitezke -zentral termoelektriko erraldoi batekin erka ditzagun-; eraldaketa prozesuak ez du parte mugikorrik behar -motor guztietan gertatzen denaren kontra-; fotosintesia da, azken buruan, gaur egungo iturri energetiko askoren -erregai fosilen- oinarria.

Alta, fotosintesiak ere badauka bere ordaina. Efizientzia netoa oso apala da. Fotosintesiak ez du eskuragarri dagoen erradiazio osoa atzematen. Oso argi -hobeto esanda, oso berde- uler daitekeenez, landareen ehunetan fotosintesi prozesua burutzen duten molekulek ez dute berde koloreko erradiazioa xurgatzen, eta eguzki-erradiazioaren espektroaren zati zehatz batzuk baino ez dute erabiltzen. Erradiazio zehatz horiek erabiltzen, fotosintesia nahiko efizientea da (%25 baino gehiago), baina erradiazio gehiena islatu edo galtzen da. Egia esanda, hau ez da batere berri txarra, guztiz deprimigarria izango baitzen gure ingurua, fotosintesia askoz efizienteagoa izan balitz! Norbaitek irudika dezake mundu bat, non eta landare guztiak beltz kolorekoak izango ziren?

Hostoen azalean eskuragarri dagoen erradiazio osoa kontuan hartuta, kasu onenetan, fotosintesiaren efizientzia %4 eta %10 artean kokatzen da, landareek beren molekuletan atzemandako energia kimikoarekin lotua. Alabaina, konturatu behar dugu efizientzia netoa, oraindik, askoz apalagoa izango dela, zeren landareek ere beren bizitza beharrak ase behar baitituzte, eta horretarako, noski, atzemandako energia erabiliko dute. Kate trofikorako eskuragarri geratzen den energia, landareek beren bizitzan jasotako erradiazio-

energiaren %0,1 eta %1 bitartekoa izango da, landare mota eta egoeraren arabera -ez baitira kontu bera, adibidez, itsasoan aurki daitezkeen fitoplankton eta algen kasua, basoetako zuhaitzena, edo zerealen laborantza¹⁷ -.

Karga faktorea

Energia konbertsoreek, orokorrean, ez dute potentzia gorenean modu jarraituan funtzionatzen. Hala ikatzeko zentral batek, nola presa hidroelektriko batek, 1 GW-eko potentzia daukatela diogunean, horrekin ez dugu esan nahi zentralak edo presak, betiere, gehieneko potentzia elektriko hori sortuko duenik. Izan ere, sorkuntza elektrikoko instalazio gehienen erregimena aldatzen da, eta batez besteko potentzia, gehienekoa baino baxuagoa da beti, kasu batzuetan modu nabarmenean, ikusiko dugunez.

Munduko sorkuntza nuklear eta hidroelektrikoaren arteko erkaketak, diogunaren adibide ezin hobea eskaintzen digu. 4. taulan aurkeztu dugunez, munduan instalatutako potentzia hidroelektrikoak bikoiztu egiten du potentzia nuklearra. Bigarren kapituluan, alta, ikusiko dugu nola zentral nuklearrek sortutako energia elektrikoa, munduan, presa hidroelektrikoek sortutakoa baino handiagoa den. Teknikoki, horri, zentral nuklearren *karga faktorea* sorkuntza hidroelektrikoarena baino altuagoa dela esaten diogu. Karga faktorea, edo produktibitatea, sorkuntza-instalazio batek potentzia gorenean funtzionatuko lukeen denboraren ehuneko baliokideari deritzogu. Karga faktorea, beti, %100 baino gutxiago da.

17 Fotosintesiaren muinean murgiltzeko, ikus *Photosynthesis*, 1969, E. Rabinowitch eta Govindjee orain dela 40 urte idatzitakoa, eta interneten bidez eskuragarri dagoena: <http://www.life.uiuc.edu/govindjee/photosynBook.html>. Fotosintesiaren balantze energetikoen berri izateko, ikus bereziki lehenengo kapituluak.

Karga faktorearen aldakortasunaren atzean, printzipioz, bi izaera desberdineko egoera daude. Alde batetik, energia berriztagarrien kasuan nabarmena denez, energia-fluxua eskuragarri dagoenean bakarrik eralda daiteke energia-fluxu hori: aerosorgailuek bakarrik haizea dabilen heinean sortzen dute energia elektrikoa, eta panel fotovoltaikoek Eguzkia zeruan dagoenean baino ez dituzte eguzki-izpiak elektrizitate bihurtzen. Beste alde batetik, erregaien erabileran oinarritutako sorkuntza elektrikoaren kasua daukagu. Honetan, ez dago fluxu berriztagarrien gaineko mendetasunik. Egungo etxeetan, ez gaude Eguzkiaren menpean kanilatik ur bero atera dadin; hala lortzeko, etxeraino gas-hoditik datorkigun gas naturala erre baino ez dugu behar, etxeko galdaran. Hala eta guztiz ere, mendekotasuna ez da erabat desagertzen, zeren erregaiekiko dependentziara pasatzen baikara. Erregai fosilen erabileran oinarritutako sorkuntza energetikoan, erregaien eskuragarritasunarekiko mendekotasuna sortzen da.

Ekonomia munduan produkzio ekonomikoarekin gertatzen den bezala, sistema energetikoa aztertzerakoan ere, gaiari eskaintzaren aldetik nahiz eskaeraren aldetik begira diezaiokegu. Karga faktorearen kontzeptua, energiaren kontsumoan ere aplikagarria da, energia kontsumoan ere ohikoena baita karga faktorea %100 baino askoz gutxiago izatea. Autoen erabileran, karga faktorea bereziki baxua da: gure ehun zaldiko autoak potentzia altu hori garatu ahal du, eta hala izango da azeleragailua sakonki zapaltzen dugunean; motorrak garatzen duen batez besteko potentzia, baina, askoz apalagoa izango da; zer esanik ez autoak garajeen atsedena hartzen duenean. Energia kontsumitzen duten makina, tresna eta dispositibo guztiek ez dute modu iraunkor batean funtzionatzen. Batzuek -argitze sistemaren kasua, adibidez- energia gehiago kontsumitzeko joera Eguzkirik ez dagoenean izango dute; beste batzuk -sistema produktiboen makineria- jarduera ekonomikoarekin lotuago izango dira; beste konbertsore

energetiko batzuen erabilera, ordea, klimaren mendean egongo da: pentsa dezagun aire egokituaren kasuan udako egun berotsuenetan, edota berogailuen erabilera neguko egun hotzenetan.

Sorkuntza elektrikoaren karga faktorea, Espainian

Sorkuntza mota	Potentzia instalatuta (GW)	Sortutako energia 2004.6-2005.6 (GWh)	Karga faktorea (%)
Hidraulikoa	16,66	22.953	15,73
Nuklearra	7,87	58.852	85,37
Ikatza	11,4	78.202	78,31
Fuel-gasa	6,6	10.603	18,34
Ziklo konbinatua	8,4	38.703	52,6
Eolikoa	9,8	21.681	25,26
Besteak	8,2	37.081	51,62

6. taula. Sorkuntza elektrikoaren karga faktorea Espainian, 2004-2005 (Itur.: REE).

Gizartean, energiaren kontsumoa ez da egonkorra, baizik eta jarduera ekonomiko, klima, egunen ziklo eta abarren mendean dagoen zerbait. Sistema energetiko zehatz batean, edozein momentutan, energia eskaera eta eskaintzaren arteko doiketa bat gertatu behar da. Doiketa horren kariaz, sorkuntzaren karga faktorea aldatuko da. Dioguna modu ezin hobean ikusten da sorkuntza elektrikoaren kasuan. 6. taulan, Espainiako sorkuntza elektrikoaren ekoizpenak eta karga faktoreak erakusten dira, sorkuntza motaka¹⁸.

Guztira, Espainiako sorkuntza sistema penintsularreko potentzia ia 70 GW da. Motaka, sistema hidroeletrikoa da handiena (ia 17 GW). Zentral nuklearrek eta ikatzez elikatutakoak sortutako energia elektrikoak, ordea, hidroeletrikoa baino handiagoa da.

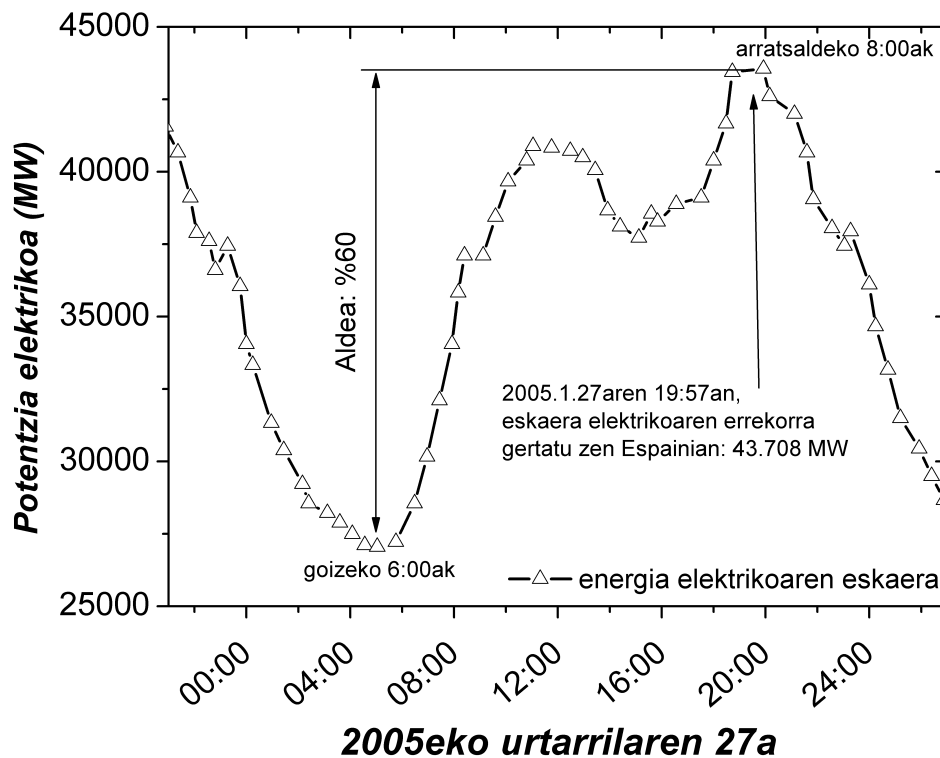
18 *Boletín Estadístico de Energía Eléctrica*, Red Eléctrica de España, 2005eko ekaina, 85. zenbakia, 3. or.

6. taulan, karga faktorearen zutabea begiztatzeko badugu, konturatuko gara mota bakoitzeko zentralek erritmo desberdinean funtzionatzen dutela. Zentral nuklearren karga faktorea oso altua da, %85 baino gehiago. Zentral nuklearrek potentzia gorenean funtzionatzen dute modu egonkorrean, eta aldizkako azterketak egin edota erregai nuklearra aldatu behar denean baino ez dira gelditzen. Espainiako sorkuntza elektrikoan, ikatz-zentralek pisu handia daukate -ikatzetik ateratako elektrizitatea, osoaren ia %30 baita-, eta haiek ere karga faktore handiak erakusten dituzte, ia %80. Sorkuntza eolikoaren karga faktorea, ordea, askoz apalagoa da: %25 inguru, fuel eta gasen sorkuntza termoelektriko klasikoaren kasuan gertatzen den bezala. Karga faktore txikiena erakusten duen sorkuntza mota hidroelektrikoa da, beste alde batetik potentzia gehien instalatuta daukana. Horrek norbait harritu dezakeen arren, ulergarria da. Presa hidroelektrikoaren sorkuntza elektrikoaren modu jarraituan potentzia gorenean gertatuko balitz, presa guztiak epe motz-motzean hustuko lirateke. Presa hidroelektrikoak, sorkuntza elektrikoaren *erregulazio-sistemaren* zutabe bat dira: erregai fosilengan oinarritutako sorkuntzarekin batera, elektrizitatearen eskaintza eskaerarekin doitzen dute, momentu bakoitzean, karga faktorea erregulatzen -hau da, ematen duten potentzia aldatzen-.

Sare elektrikoa

Sare elektrikoaren funtzionamendu egoki eta orekatua ezinbestekoa da gure gizartean. Ohituegiak gara ikusten nola edozein etengailua pizten dugunean, automatikoki, tresna elektriko bat martxan jartzen den. Tresna elektriko batzuk -gehienak dispositibo elektroniko txikiak-, pilen bitartez elikatzen direla egia izanik, energia elektrikoaren eskala handian, ez dago biltzerik. Momentu bakoitzean, sare elektrikotik eskuratzen den energia elektrikoaren nonbait sortzen ari da, zentral nuklear batean, ziklo konbinatuko zentral batean, edo haize-turbina batean. Eskaera aldakorra denez, sorkuntzak ere aldakorra izan behar

du, eta doiketa hau da, hain zuzen, sare elektrikoaren funtzionamenduaren puntu garrantzitsu eta zailenatariko bat. Zorionez, energia elektrikoaren eskaera aurreikusteko modua badago, egun gehienetan eskaera kurbak itxura berekoak direlako, 2. irudian agertzen denaren antzeko¹⁹.



2. irudia. Energia elektrikoaren eskaera eta eskaintzaren arteko doiketa

2005.1.27, Espainian (Itur.: REE).

2. irudian ikusten denez, eguneko kurba guztiek eskaerako ibar moduko bat agertzen dute goizeko lehenengo orduetan, eguneko eskaera minimoaren bueltan. Hortik aurrera, eskaerak gora jotzen du arintasunez, eguerdira arte. Eguerdia inguruan, eguneko

¹⁹ Espainiako sare elektrikoaren sorkuntza-profilak eskuragarri daude REE-ren orrialde elektronikoan. 2005eko urtarrilaren 27koa, lotura honetan aurki daiteke:

<http://www.ree.es/apps/detalle_curva2.asp?grafico=demanda20050127&hoy=0>.

lehenengo maximo bat gertatzen da, jarduera ekonomikoa eguneko puntu gorenean dagoenean. Arratsaldean elektrizitatearen kontsumoa pixka bat jaisten da, arratsaldeko azken orduetan berriro gora jotzeko, gaueko lehenengo orduetan -eguzki-argirik jada ez dagoenean, argi artifizial gehienak piztuta, eta jendea etxean afaria prestatzen ari denean- eskaeraren maximo absolutua gertatu arte, gaueko zortzi eta bederatzi artean. Gauean zehar, eskaerak behera jotzen du arinki, hurrengo eguneko minimo absolutua berriro jo arte.

Egunez egun, eskaera-kurba oso antzekoak agertzen zaizkigu, aldaketa gutxirekin. Egun batetik beste batera gerta daitezkeen aldaketak, gainera, aurreikusteko modukoak dira. Asteburu eta jai egunetan kurba osoak behera jotzen du; udako egun berotsuenetan eguneko orduetan kontsumoak -aire girotu sistemen funtzionamendu masiboak hala eskatuta- gora jotzen du, neguko egun hotzenetan gaueko maximoak egiten duen bezala, berotze sistemen konexio masiboak aginduta.

2. irudian agertzen den kurba, Espainian sorkuntza elektriko goren historikoa jo zen egunekoa da, 2005eko urtarrilaren 27an, alegia: ia 44 GW. Gutxieneko eskaera elektrikoak, egun horretan, 27 GW-ekoa zen, eta oro har ez da inoiz izaten 20 GW baino gutxiago. Ikusten denez, energia elektrikoaren sorkuntzak beti hartzen du barne %60ko tarte aldakor bat. Jeneralean, sorkuntza nuklearra beti izango da beste %40ko tarte finkoaren barruan, baita erregai fosilekin elikatutako sorkuntzaren zati garrantzitsu bat ere, inoiz desagertzen ez den eskaera elektrikoaren oinarritzko zatia elikatzeke.

Pentsa dezakegunez, eskaera eta eskaintzaren arteko doiketa ez da batere lan makala, eta hala egiteko, erregulatzeko ahalmena ezinbestekoa da. Sistemak bi bide dauzka

erregulazioa burutzeko. Bata eskaintzaren aldetik, eta bestea eskaeraren aldetik. Azken horretatik hasiz, beraren funtsa simple samar da: sistemaren erregulatuzaileak hitzartuta dauka kontsumitzaile batzuekin -oro har kontsumitzaile industrial handiekin- deskonexioa egiteko, eskaintzak eskaerari aurre egin ezin badio. Mozketa selektiboen truke, noski, kontsumitzaile horiek beste onura batzuk ateratzen dizkiote hitzarmenari, nabarmenki energia salneurriaren beherapenak. Hala ere, bezero batzuen deskonexio selektiboa azkeneko bitartekoa baino ez ohi da izaten, sistema elektrikoak beste bide bat baitauka eskaintzaren aldetik eskaeraren aldakortasunari aurre egiteko. Eskaera elektrikoa aldatzen ari den heinean, sistemak sorkuntza elektriko osagarria martxan jartzen da eskaerak gora jotzen badu, edo zentral batzuen sorkuntza moteltzen du -geldiarazi arte, beharrezkoa eta teknikoki posible bada- eskaerak behera jotzen badu. Erregulazio mota hau ez da bideragarria edozein sorkuntza motatan. Gorago esan dugunez, sorkuntza nuklearra aldagaitz samar da. Eskaintzaren doiketa egiteko, sorkuntzaren potentzia erregulatuta izan daitekeen zentraletan egin behar da. Horrek ez du derrigorrez eskatzen zentralak bertan behera uzterik, baina bai zentralak denbora unitateko ematen ari diren energia -hau da, potentzia- aldatzeko ahalmena. Era horretako doiketa egiteko, erregaiak nahitaezkoak dira, erregaiekin funtzionatzen duten zentral elektrikoaren sorkuntza erregaien eskuragarritasunaren mendea baitago, eta zentral nuklearren kasua kenduta, beste kasu guztietan -fuela, gas naturala, ikatza- teknologiak aise ahalbidetzen baitu zentralen sorkuntza-erritmoa aldatzea.

2005eko urtarrilean gertatutako maximo historikoa, ia 44 GW, Espainia penintsularrean guztira instalatuta dagoenetik -ia 70 GW- nahiko urrun dago. Alabaina, Espainia osoan gorriak ikusiko lituzkete bakarrik 50 GW-eko potentziara hurbildu beharko balute, ezinezkoa baita sorkuntza osoa momentu berean martxan jartzea. Antzeko zerbait gertatu

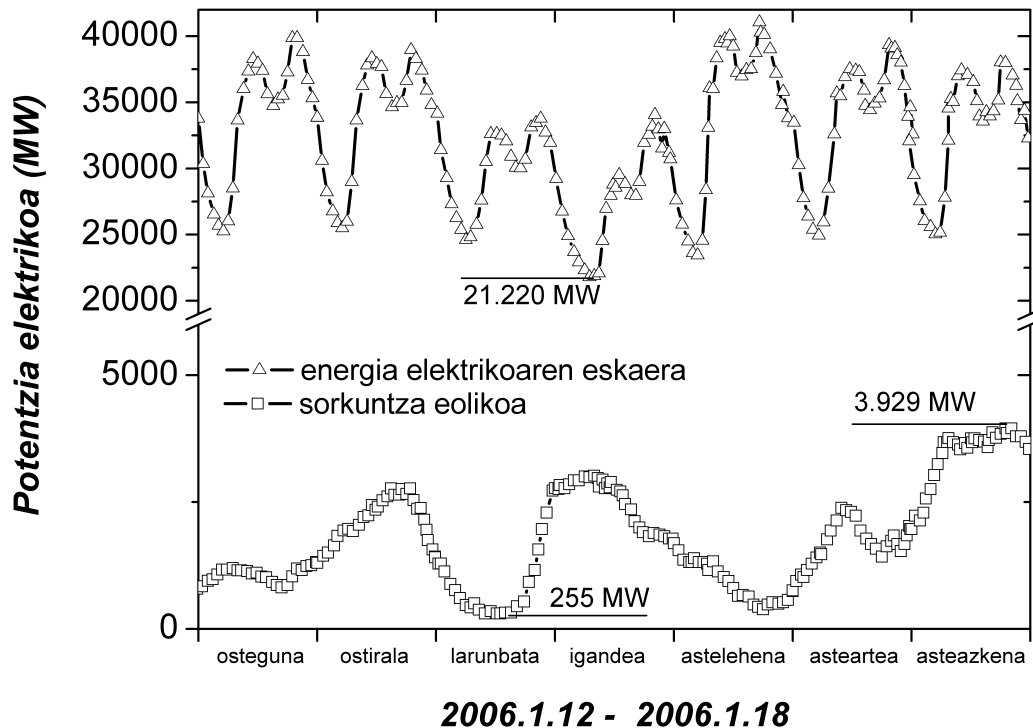
zen 2005eko udan. Ekainaren 22an, arratsaldeko 17:21ean, 38,6 GW-eko eskaera gertatu zen sistema elektriko penintsularrean; hain zuzen, ordura arte, udan gertatutako eskaera errekorra. Lehengo urtarrilean gertatutako neguko errekorretik nahiko urrun izan arren, Espainian elektrizitatearen garraioaz eta sistema elektriko osoaren funtzionamenduaz arduratzen den Red Eléctrica de España konpainiak, gerta zitezkeen itzalaldiz ohartarazi zuen²⁰: egun horietan, Valdellos eta Cofrenteseko zentral nuklearrak geldituta zeuden, orokorrean haize gutxi zebilen -sorkuntza eolikoa une horretan 1,5 GW-ekoa baino ez zen-; gauzak okertzeko, Frantzian greba egunak ziren, Pirinio mendien beste aldetik inportatu ahal zen energia elektrikoa nabarmen murriztuz.

Eta zer aukera ematen digute energia berriztagarriek? Zentral hidroelektrikoek ere erregulazio ahalmena eskaintzen dute eskaera elektrikoaren aldakortasunari aurre egiteko; hala eta guztiz ere, baliabide hidrikoen kudeaketa kontu handiz egiten da, azken batean presa hidroelektrikoek biltzen duten energia plubiositatearen mendean dagoelako; ezin ahaztu, gainera, presek biltzen duten urak beste funtsezko erabilera batzuk ere badituela, beste erregulazio erregimen desberdinak eskatzen dituztenak.

Espainiako sistema elektrikoan, potentzia osoaren zazpiren bat da potentzia eolikoa. Alabaina, energia eolikoaren erregulazio ahalmena nahiko mugatua da. 3. irudiak Espainia penintsularrearen sorkuntza elektriko osoa erakusten du, sorkuntza eolikoarekin batera, 2006ko urtarrilaren aste zehatz batean zehar. Argi eta garbi ikusten denez, energia eolikoa ez dago batere sinkronizatuta energia elektrikoaren eskaera osoarekin. Energia eolikoa arreta handiagoz aztertuko dugun lekuan ikusiko denez, ez bakarrik ez-sinkronizatuta, baizik eta aurretik ikusi ezin dena ere bada, gutxienez epe motz-

20 “Informe Mensual. Mercados de la energía”, in InfoPOWER, 2005eko ekaina, 127. or.

motzean ez denean.



3. irudia. Sorkuntza elektriko osoa eta sorkuntza eolikoa Espainian, 2006.1.12-2006.1.14 (Itur.: REE).

Ipar Amerikan nahiz Europan azken urteotan gertatutako itzalaldien ugaritasunak -2003ko udaberrian itzalaldi erraldoiak Danimarkan, Italian eta baita Erresuma Batuan ere gertatu baitziren- argi utzi zuen sistema elektrikoaren kudeaketaren konplexutasuna. Aditu askoren ustez, herri garatuetan, sare elektrikoak egoera nahiko kritikoan dago, bere jardura menderakaitz dela esan arte²¹. Elektrizitatearen eskaera gero eta handiagoak, alde batetik, eta garraio eta kudeaketa sistemetan inbertsio eskasek, bestetik, konplexutasun maila jasanezinetan jarri dute, behin baino gehiagotan, sarearen

21 "The Unruly Power Grid", in IEEE Spectrum, 2004ko abuztua, 16-21 or.

funtzionamendua. AEBetan, sarea bertan behera geratzeko gertatzen ari diren probabilitate enpirikoak, pentsatzen zena baino altuagoak omen dira. Horrek orain arte erabili diren ereduengandik urruntzera bultzatu ditu aditu batzuk, zeinak, sistema ez-lineal eta kaosaren teoriak erabiltzen hasi diren.

Sarearen jokabidea konplikatzen ari da oso, eta ez dirudi energia berriztagarrien erabilera ugaltzeak kontuak erraztuko dituenik.

Erregai fosilen papera

Egun, erregai fosilak ezinbestekoak dira. Energia elektrikoaren %70 erregai fosiletatik sortutakoa da, munduan zehar dauden milaka zentral termoelektrikotan. Baina gizateriak erregai fosilak ez du bakarrik erabiltzen elektrizitatea sortzeko. Alegia, kontsumitzen den energia primarioaren %80 da petrolio, gas natural eta ikatzak emandako energia: ezinbestekoa sektore industrialean, garraioan, nekazaritzan, eraikuntzan... erregai fosilak lehengai funtsezkoak baitira ia jarduera ekonomikoko sektore guztietan. Gure autoak zapaltzen dituen errepideen asfaltoak, petrolioan dauka iturburua; nekazaritzan hain erabiliak diren ongari nitrogenodunak sortzeko beharrezkoak diren hidrogenoa eta energia, gas naturaletik erauzten dira; janzten ditugun oihal sintetikoak eta orokorrean plastikozko material guztiak, petrolio eta gas naturala prozesatuz sortzen ditu sektore petrokimikoak; erregai fosil guztien ekarpena ezinbestekoa da sektore farmazeutikoan, eta abar.

Baina erregai fosilek badaukate beste paper garrantzitsu bat, askotan guztiz ahaztuta daukaguna, eta sinple samar, nahiz funtsezkoenetariko bat izan: *energia bektorearena*. Energia bektore bat zera da: energia metatzeko edota lekuz aldatzeko, hau da,

garraiatzeko, erabiltzen dugun substantzia edo sistema. Energia biltzeko erregai fosilek betetzen duten funtzioa ezinbestekoa da, sektore askotan. Garraioan, adibidez, petrolioaren deribatuak dira nagusi. Eta energia elektrikoaren sorkuntza erregulatzeko, erregai fosilak ere nahitaezkoak dira, energia elektrikoa ezin baita pilatu.

Energia elektrikoa ere, energia bektore garrantzitsu bat da. Sistema produktiboan nahiz eguneroko jardueran, argindarrak elikatzen dituen tresna eta makinak nonahi aurki ditzakegu. Energia katean, elektrizitatearekin lotutako kate-mailak garrantzitsuenetarikoak dira. Hala ere, elektrizitatea pilatzeko modurik ez dugu egun, gutxienez eskala handian. Energia elektrikoa pilatzeko dagoen modu bakarra zera da: elektrizitatea beste energia mota bat, bildu ahal dena, bihurtu. Horretan datza hidrogenoak energia bektore moduan izango omen duen etorkizun distiratsua. Energia bektoreen inguruko eztabaidari, kapitulu oso bat eskainiko diogu liburuaren azken zatian.

2. GAURKO EGOERA ENERGETIKOA

Kontsumoa munduan

Energia kontsumoa, hainbat kontsumo-fasetako kate-mailak osatutako kate luze bat moduan ulertu behar dugu. Gainera, gogora dezagun katean zehar kate-maila batetik bestera pasatzean, energiak aurrera egiten duen heinean, energia erabilgarriaren zenbateko osoa gutxiagotzen doala, energiaren eraldaketa bakoitzean beti zati bat galtzen delako. Hala izanik, energia kontabilizatzerakoan, energia katean puntu zehatz bat aukeratu behar da. Energia estatistiketan, bi une nagusi hartzen dira erreferentziazat²².

Ondasun energetiko guztiak instant batean edo bestean Naturaren bidez heltzen zaizkigula kontuan hartuta, lehenengo kontabilitate puntua Naturatik ahalik eta gertuen dagoen momentua izango da. Une horretan, energiak *energia primarioa* hartzen du izena. Termino hori -primario-, guztiz hautazkoa, eta aurreko kapituluan esan dugunaren harira, nahiko desegokia da, zeren energia primario horrek ere jatorri zehatz bat baitauka: gehienetan, Eguzkia. Edonola ere, zibilizazio guztietan Naturak bere baliabideak modu agortezinean ematen dituelako pertzepzioa gertatu da; horrexegatik, egun ere, energia primarioaren ideia atzean, Natura ahalguztiduna dagoen ideia aurkituko dugu, askotan konturatu barik Naturaren baliabide energetikoak energia fluxu mugatuak baino ez direla.

Energia primarioaren zaku horretan, izaera oso anitzeko hainbat ondasun energetiko biltzen dira. Alde batetik, Naturan zuzenean eskuratzen diren erregai fosilak aurkituko ditugu: petrolioa, ikatza eta gas naturala. Erregaiak bai baina fosila ez den biomasa ere fosilekin batera hartzen da puntu honetan. Erregaien kontabilitate energetikoa

²² *Energy Statistics manual*, International Energy Agency eta EUROSTAT, 17-37 or.

egiterakoan, haien eduki kalorikoa hartzen da kontuan.

Beste alde batetik, elektrizitatea eta beroa ere zuzenean ekoitz daitezke Naturarengandik. Energia geotermikoa, esaterako, hainbat herritako etxebizitzetan berokuntza hornitu eta ura berotzeko erabiltzen da. Elektrizitatea ere hainbat teknologiaren bitartez sortzen da, Naturaren fluxu energetikoak atzematen. Hori da elektrizitate hidroelektrikoaren kasua, baita energia eoliko, fotovoltaiko eta termoelektrikoarena ere. Energia primarioa zenbatzerakoan, baina, arazo bat sor dakiguke: zer dela eta da posible elektrizitatea eta erregaien eduki kalorikoa batzea, energia mota hain desberdinak izanik? Zentzua dauka horrek? Printzipioz, bai: energia primario guztiek magnitude bera -energia- eta unitate bera -joule- dauzkatenez, bateragarriak dira kontabilitate batean²³. Hala ere, kontuz! Gauza bat da energia nuklear elektrikoa²⁴ eta petrolio energia-kontabilitateetan batzea, eta beste oso desberdin bat biak *edozein egoeratan trukagarritzat hartzea*. Nahaste horrek ezulertu handiak sortzen ditu energiaren gaineko eztabaidetan.

2003an, munduan energia primarioaren horniketa 10.579 milioi tona petrolio baliokide (10.579 Mtpb) izan zen, edo 444 exajoule (EJ, 10^{18} J)²⁵. Jatorrien arteko banaketa, zera izan zen: petrolio, %34,4; gasa %21,2; ikatza, %24,4; nuklearra, %6,5; hidroelektrikoa, %2,2; erregai berriztagarriak eta hondakinak, %10,8; besteak (geotermikoa, eoliko, fotovoltaikoa eta fototermikoa, eta abar) %0,5. XXI. mendeko zibilizazioan erregai fosilek

23 Erregai fosilen pisua hain garrantzitsua izanik, normalean petrolioren eduki energetikoa hartzen da erreferentziatzat elektrizitatearekin alderatzerakoan: milioi bat tona petrolio baliokide (1 Mtpb) berdin 11,7 terawatt-ordu (TWh, 10^{12} Wh), edo 42 petajoule (PJ, 10^{15} J).

24 Energia nuklearraren kasuak argitze berezi bat eskatzen du. Energia nuklearra, egun, elektrizitatea sortzeko erabiltzen da, eta sorkuntza hori da neurtzeko bide zuzena. Horrela izanda ere, zentral nuklear batek sortutako elektrizitatea ez da energia primarioa, eraldaketa energetiko baten emaitza baizik. Zentral nuklearretan uranioa da erregai, eta bera da energia primarioaren benetako eroalea. Hau guztia kontuan hartuta, era nuklearreko energia primarioa kalkulatzeko, erregai erradioaktiboaren eduki kalorikoa balioesten da elektrizitate nuklearretik hasita, suposatzen elektrizitatea %33ko efizientziako zentral termikotan sortzen dela.

25 *KEY WORLD ENERGY STATISTICS 2005*, International Energy Agency, 7. or.

duten oinarrizko papera ukaezina da. Munduan, komertzialki salerosten den energia primarioaren %80 osatzen dute erregai fosilek. Datu horiek guztiak laburbilduta, 7. taulan aurki daitezke.

Energia primarioa mundu mailan				
Baliabide energetikoa	1973 (Mtpb)	1973 (%)	2003 (Mtpb)	2003 (%)
Petrolioa	2.715	45	3.639	34,4
lkatza	1.496	24,8	2.581	24,4
Gas naturala	978	16,2	2.243	21,2
Energia nuklearra (termikoa)	54	0,9	688	6,5
Energia hidroelektrikoa	109	1,8	233	2,2
Erregai berriztagarriak eta hondakinak	676	11,2	1.143	10,8
Beste	6	0,1	53	0,5
<i>Guztira</i>	<i>6.034</i>	<i>100</i>	<i>10.579</i>	<i>100</i>

7. taula. Energia primarioa 1973 eta 2003an. Baliabide energetikoen arteko banaketa (Itur.: IEA).

Norbait ustekabeen har dezake energia nuklearra eta hidroelektrikoaren arteko aldea ikusteak, 4. taulan munduan instalatutako potentzia hidroelektrikoak nuklearra bikoizten duela ikusita. Horren atzean dagoena, karga faktoreen arteko alde nabarmena da. Gorago esan dugunez, presa hidroelektrikoekin gertatzen denaren kontra, zentral nuklearrak ia inoiz ez dira gelditzen, eta potentzia gorenean funtzionatuz sortzen dute elektrizitatea. Modu horretaz, potentzia gutxiagok askoz energia elektriko gehiago sortzen du.

Azken 30 urteotan gertatutako bilakaera, esanguratsua izan da. Ikusten denez, zenbateko

absolutuetan, baliabide energetiko guztiek gora egin dute. Kuoten aldetik begiratuta, energia nuklearrak modu nabarmenean egin du gora, ia petrolioak kuota galdu duen hein berean. Gas naturalaren erabilera ere hedatu da, eta ikatzak -askok pentsatzen dutenaren kontra-, bere kuota nahiko ondo mantentzen du, %25-en bueltan. Erregai berriztagarrien kasua alde batera utzita, energia berriztagarriek, beren aldetik, ekarpen oso apalak egiten dituzte nahaste energetikoan, azken urteotan hazkunde oso indartsua gertatu arren.

Kontabilitate energetikoa egiteko, energia katean hartzen den bigarren puntua *azkeneko kontsumo*arena da. Kasu horretan ere, aukeratutako izena nahiko iluna da. Argitze aldera, esan dezagun horren barruan sartzen direla alde batetik hainbat jatorritatik sortutako elektrizitate eta bero, eta beste alde batetik erregai eta deribatu batzuk, zeinak elektrizitatea edo beste erregaiak sortzeko erabiliko ez diren. Azken multzo honetan sartzen dira garraio sektorean kontsumitutako erregai guztiak, eta sektore produktiboan lehengai moduan erabilitako erregai fosilen deribatuak -gogora dezagun, esate baterako, industria petrokimikoan plastikoa egiteko erabiltzen diren gas eta petrolioaren deribatuen kasua, edo errepideak asfaltatzeko erabiltzen den galipota-.

Azkeneko kontsumoa, beti, energia primarioa baino gutxiago da. Zentral termoelektriko konbentzional onenen efizientzia %40 baino gutxiago dela kontuan hartuta, zentral nuklearrek, ikatzekoek eta fuel-oilekoek sortutako elektrizitatea, hura sortzeko erabilitako energia primarioaren hiruren bat baino pixka bat gehiago izango da, kasu onenean. Energia primarioaren bi heren bidean geratzen dira, eta hemendik datorkio garrantzia ziklo konbinatuaren teknologiar, mota horretako zentralek sorkuntza elektrikoaren efizientzia ia bikoizten dutelako. Garraioan kontsumitutako erregaien energia ere, haiek sortzeko erabilitako energia primarioa baino gutxiago da, findegietan sortutako deribatuak sortzeko

ere, energia behar baita.

Fluxu berriztagarrietatik sortutako energia elektrikoaren kasua azpimarragarria da. Energia hidroelektrikoa, eolikoa edota fotovoltaikoa energia elektriko primarioak dira, eta azken kontsumoan sartzen diren ia zenbateko berberak, elektrizitatearen garraio-sarearen galerak kenduta. Berriztagarrien energia-katea laburra eta galera txikikoa da, orokorrean. Fluxu berriztagarrien ekarpena, beste motatakoena baino baliotsuagoa da energia primarioan.

8. taulan, 1973 eta 2003ko azkeneko kontsumoak alderatzen dira, lehenengo partean sektoreka bananduta, eta bigarrenean baliabide energetikoka bereizita. Azken 30 urteotan, azkeneko kontsumoa %70 hazi da, gutxi gorabehera energia primarioa hazi den neurri berean.

Sektoreen arteko banaketa ikertuz gero, garraioaren hazkundera nabarmenduko zaigu, egun, azkeneko kontsumoaren laurden bat baino gehiago baita. Azken hamarkadetan gertatutako globalizazio prozesu izugarriek, ziur aski, asko esateko izango dute kontu horretan. Sektore industrialaren pisua, aldiz, behera jaitsi da arinki, 70 eta 80ko hamarkadetako krisi ekonomikoak zirela eta, sektorearen efizientzia nabarmenki hobetu baita azken hamarkadetan: industriak energia eta lehengaiak hobeto erabiltzen ditu, orain dela 30 urte baino. Alemanian eta Danimarkan, kasu, kontsumo energetiko eta barne produktu gordinaren arteko erlazioa islatzen duen *intentsitate energetikoa*, %40an murriztu da, eta Frantzian, %30ean²⁶.

26 *Libro Verde sobre la eficiencia energética*, Europako Batzordea, 2005eko ekaina, 10. or.

Azkeneko kontsumoa mundu mailan, sektoreka				
	1973	1973	2003	2003
Sektore energetikoa	(Mtpb)	(%)	(Mtpb)	(%)
Garraio sektorea	967	21,0	1.895	26,0
Sektore industrialak	1.587	34,5	2.326	31,9
Beste sektore	2.052	44,6	3.066	42,1
<i>Guztira</i>	<i>4.606</i>	<i>100,0</i>	<i>7.287</i>	<i>100,0</i>

Azkeneko kontsumoa, baliabide energetikoka				
	1973	1973	2003	2003
Baliabide energetikoa	(Mtpb)	(%)	(Mtpb)	(%)
Petrolioaren deribatuak	2.121	46,0	3.098	42,5
Gasaren deribatuak	671	14,6	1.192	16,4
Ikatzaren deribatuak	620	13,5	538	7,4
Elektrizitatea	502	10,9	1.234	16,9
Bero	7	0,2	150	2,1
Erregai berriztagarriak eta hondakinak	657	14,3	1.022	14,0
Beste (eolikoa, etab)	27	0,6	53	0,7
<i>Guztira</i>	<i>4.606</i>	<i>100,0</i>	<i>7.287</i>	<i>100,0</i>

8. taula. Azkeneko kontsumoa 1973 eta 2003an, sektoreka eta baliabide energetikoka (Itur.: IEA).

Baliabideen arteko banaketari begiratzen badiogu, esperokoa denez, petrolioaren deribatuen pisu izugarria nabarmenduko zaigu: %42,5. Ehuneko horren barruan daude sartuta garraioan erabilitako deribatu guztiak, baita hainbat sektore industrialetan guztiz funtsezkoak diren lehengaiak ere: plastiko, margo, oihal sintetiko, asfalto, eraikuntzako material, eta abar. Ikatzen deribatuen pisua, zenbateko absolututan zein erlatibotan gutxitu arren, maila garrantzitsu batean mantentzen da: %7,4an, ikatzen aroa bukatutzat hartzen dutenak guztiz oker dabilzala erakusten -oso kontuan hartzekoa da honen barruan ez dagoela sartuta elektrizitatea sortzeko erabilitako ikatza, kasu horretan ikatza ez delako azkeneko baliabide energetikoa-.

Beroaren erabilera produktiboa ere nabarmenki igo da, intentsitate energetikoen hobekuntzak bultzatuta. Hein handi batean, baterako sorkuntzaren filosofia eta aplikazioa da igoera horren atzean dagoena.

Energia berriztagarrietatik ateratako erregai eta elektrizitateak, areagotu arren, ezin izan dute beren pisu erlatiboa mantendu, gizarteak energia fluxu horiekiko erakusten duen begirunea txikia dela frogatuz, beste behin ere.

**Elektrizitatearen sorkuntza banaketa,
iturrien arabera**

Erregai/iturria	1973 (TWh)	1973 (%)	2003 (TWh)	2003 (%)
Petrolia	1.509	24,7	1.150	6,9
Gas naturala	739	12,1	3.232	19,4
Ikatza	2.334	38,2	6.681	40,1
Nuklearra	208	3,4	2.632	15,8
Hidroelektrikoa	1.283	21,0	2.649	15,9
Beste	37	0,6	317	1,9
<i>Guztira</i>	<i>6.111</i>	<i>100,0</i>	<i>16.661</i>	<i>100,0</i>

9. taula. Elektrizitatearen sorkuntza banaketa, erregai eta iturrien arabera, 1973 eta 2003an (Itur.: IEA).

Energia elektrikoaren kontsumoa, bere aldetik, nabarmenki igo da azken 30 urteotan, eta egun, azkeneko kontsumoaren ia bosten bat da. Elektrizitatearen sorkuntza banaketa 2003an, iturrien arabera, zera zen: ikatza, %40,1; gasa, %19,4; nuklearra, %15,8; hidroelektrikoa, %15,9; petrolia, %6,9; besteak, %1,9. 9. taulan iturrien arteko banaketaren bilakaera erakusten da, 1973tik 2003 urtera arte. Taulan, azken urteotan energiaren erabileran gertatutako bilakaerak modu ezin hobean islatzen dira. Ikusten denez, petrolioaren erabilera nabarmenki gutxitu da elektrizitatea sortzeko, bereziki

termino erlatiboetan. Gasaren erabilera laukoiztu egin da zenbateko absolutuetan, eta ikatzarena ia hirukoiztu egin da. Sorkuntza nuklearra 13 aldiz biderkatu da, eta energia hidroelektrikoa bikoiztu baino gehiago. Elektrizitatearen sorkuntzan, argi eta garbi, ordezkatzeko prozesu bat gertatu da, petrolioaren deribatuek beste batzuei lekua utziz. Ikatzen erabilera indartsu eta sendo mantentzen da elektrizitatea sortze aldera, Euskal Herrian halakorik gertatu ez arren, munduan ikatzeko zentral termoelektrikoak guztiz modan daudela erakutsiz.

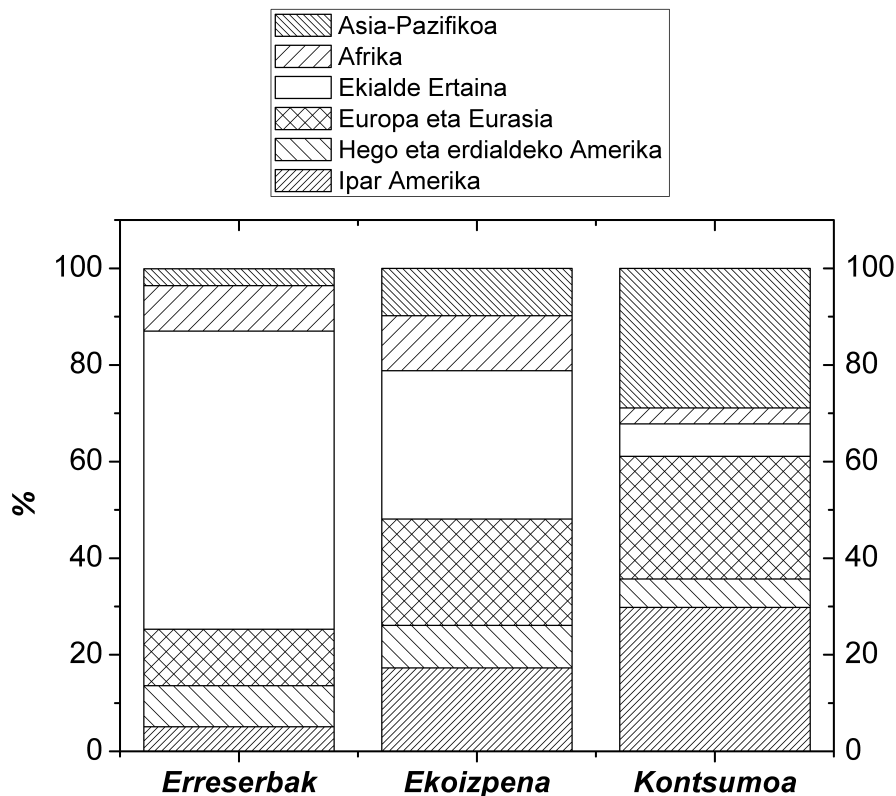
Hurrengo ataletan, begirada arretatsuago bana eskainiko diegu baliabide energetiko hauetako batzuei, modu nabarmenean garrantzitsuena denarekin hasiz: petrolio.

Petrolioaren ekoizpen gorena

Eztabaidarik gabe, petrolio da, egun, gure zibilizazioko energia baliabide nagusia. Zer gertatuko litzaiguke, egun batetik bestera, petroliorik eskuragarri ez bagenu? Gutxi ukatuko luke hondamendi segurua suertatuko litzaigukeela. Edozein modutan, atal honetan ikusiko dugunez, ez dirudi petrolio laster bukatuko denik. Larrialdi energetikora hurbiltzeko, baina, ez da beharrezkoa petrolio bukatzea, baizik eta inoiz eskuragarri egon den *petrolioaren erdia* bukatzea. Hau guztiau behar bezala azaltzeko, has gaitzen petrolioaren munduko ekoizpenari begirada bat eskaintzen.

Urtero, British Petroleum korporazioak energiari buruzko txosten bat argitaratzen du²⁷, non eta ekoizpen, kontsumo eta erreserben datuak ematen diren, herrialdeka eta energia baliabideka. Arlo ekonomikoan, British Petroleumek balioetsitako munduko petrolio erreserbak erreferentziatzat hartzen dira.

27 BP Statistical Review of World Energy, British Petroleum, 2005.



4. irudia. Petrolioaren erreserbak, ekoizpena eta kontsumoa munduan, 2004an (Itur.: BP).

Gutxi gorabehera, energia arloko korporazio angloamerikarrak munduko erreserbak 1,2 bilioi upeletan balioesten ditu, eta 4. irudian erakusten denez, haien banaketa oso desorekatuta dago. Desoreka hori, baina, ez dago erreserbetara mugatuta. Ekoizpen eta kontsumoaren banaketa ere, ez dago batere parekatuta herrialdeen artean. Egoera bereziki larria da herrialde garatuentzat. Ipar Amerikak eta Europak erreserben %7,4 metatzen dute; erreserben ekoizpena -Texasekoa eta Alaskakoa Ameriketara, eta Ipar Itsasokoa Europan- gainerako munduan gertatzen dena baino askoz trinkoagoa da, munduko %25,2 ekoizten baitute; eta kontsumoari begira, erdia baino gehiago (%51) daramate. Ekialde ertainean kokatutako herrialdeek, bestalde, munduko erreserben %62 pilatzen dute, eta %30,7 ekoitzi. Argi denez, osagai guztiak dauzkagu mahai gainean

tentsioak areagotzeko, noiz eta petrolioaren eskuragarritasuna gero eta zailagoa gertatzen denean.

Noiz, baina, gerta daiteke eskuragarritasun eza? Petrolioaren erresebak 1,2 bilioi upel badira, eta petrolio kontsumoa eguneko 85 milioi upel baino gutxiago dela kontuan hartuta, kontsumo maila horri eutsita 39 urtez jarrai dezakegu. Zenbateko hori, 30 eta 40 urte bitartekoa hain zuzen, erabili ohi da hainbatetan petrolioaren agorpena etorkizunean kokatzeko. Alabaina, arazoak ez dira agertuko petrolio ia bukatzeaz gertatuko denean, askoz lehenago baizik: *erreseben lehenengo erdia* ustiatzen denean, alegia. Honen funtsa ulertzeko, XX. mendean bizi zen geologo baten burutapenak gogora ekarri behar ditugu.

Hubberten kurba

Marion King Hubbert, Shell Oil korporazioan lan egin zuen geofisiko bat izan zen. Shell Oil-en miaketa eta ustiaketakoko ikerketa saileko buru, unibertsitateko irakasle eta hainbat elkartetako aholkulari izanik, Hubbertek petrolioaren inguruko ikerketei eman zien bizitza osoa, 1989 urtean hil arte, 86 urte zituela.

M. K. Hubbertek, 50eko hamarkadan, zeraz konturatu zen: petrolioaren ustiategien aurkikuntzak puntu gorena jo berri zuela AEBetan urte horietan, eta handik aurrera aurkikuntzen maiztasunak behera jo beharko zuela²⁸. Aurkikuntzen joera hala izanda eta petrolioaren ustiaketa eskuragarri dauden erreseben mendean daudela kontuan hartuta, Hubbertek petrolioaren ustiapenak ere kanpai-kurbaren antza izango zuela aurreikusi zuen.

28 M.K. Hubbert, *Nuclear energy and the fossil fuels*, Amerikako Petrolio Institutuak antolatutako jardunaldietan aurkeztuta, 1956.eko martxoan.

Azken batean, Hubbertek erabili zuen eredu matematikoaren funtsa nahiko sinplea zen²⁹. Hubbertek matematikoki petrolioaren ekoizpenaren bilakaera (P) modelatu nahi zuen, AEBetan. Aldagaiak aukeratzekoan, aukera asko zeuden: petrolioaren salneurria, eskaera merkatuan, ekoizteko erraztasunak/zailtasunak, erreserben eskuragarritasuna, eta abar. Hubbertek ekoizteko erraztasuna hartu zuen kontuan, nagusiki, suposatuz ekoizpen erritmoa, P , erauzte-erraztasunaren arabera izango zela. Geologoak erabilitako adierazpen matematikoa zera zen:

$$P/Q = a \cdot \left(1 - \frac{Q}{Q_T}\right)$$

Parentesi barruan dagoenak, petrolioaren erauzteko erraztasuna adierazten du, bi magnitude erabiliz: petrolioaren ekoizpen metatua (Q), eta azken buruko erreserbak (Q_T). Arrazoibidea zentzuzkoa da. Petrolio kantitate handia eskuragarri dagoenean, errazago ateratzen den petrolioaren lehenago erauziko da beti, zailtasun gehiago daukan petrolioaren etorkizunerako utziz. Ustiapen prozesuaren hasieran gertatzen dena matematikoki adieraziz, azken buruko erreserbak ekoizpen metatua baino askoz handiagoak direnean ($Q_T \gg Q$), parentesi barrukoak balio maximoa hartzen du (≈ 1). Denboran zehar ekoizpen metatua handituz doa; erauzteko zailtasunak gero eta handiagoak izango dira, eta parentesi barrukoak ere txikiagoak joango da, erauzteko erraztasunaren murriztea modelatuz. In petrolio osoa erauzita dagoenean, $Q_T \approx Q$ eta parentesiaren balioa hutsera hurbiltzen da, hobi baten bizitzaren amaieran petrolioaren erauzteko gertatzen den erraztasun eza -zailtasun izugarria- modelatzeko.

29 Kenneth S. Deffeyes, *Beyond Oil. The View from Hubbert's Peak*. 3. kapitulua, *The Hubbert Model*. 2005.

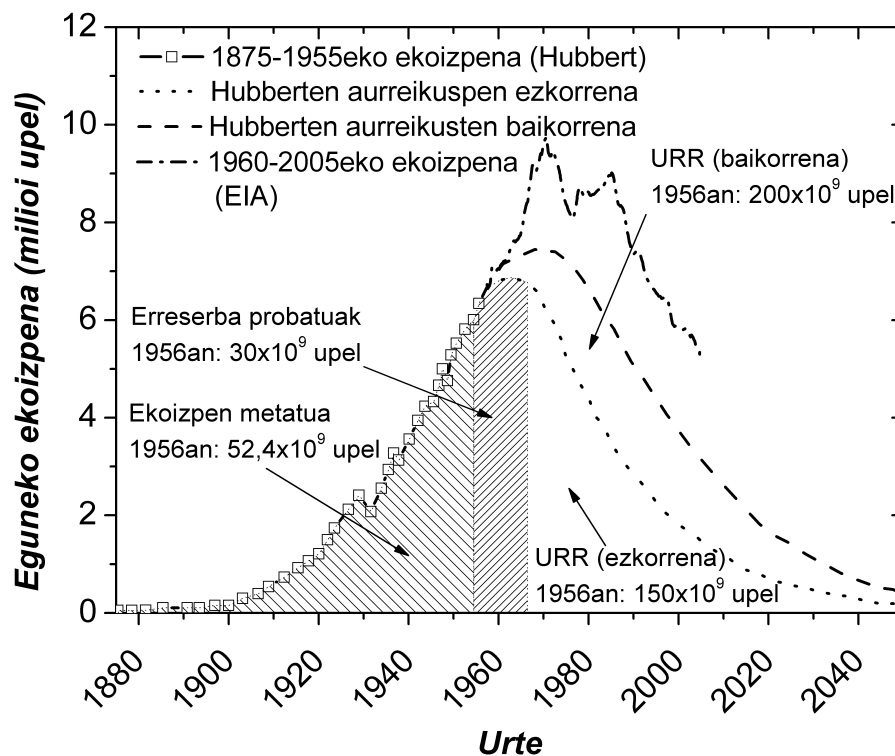
Hubberten ereduak zer dio ekoizpen prozesuaren bilakaerari buruz? Bada, ondorioak larriak dira. Ekoizpen metatua txikia denean -hau da, prozesuaren hasieran erauzteko erraztasuna handia denean-, hazkundera esponentziala da: $P/Q \simeq a$, edo $Q_{urte+1} = (1+a) \cdot Q_{urte}$. Hala ere, ekoizpena handitzen den heinean, erritmoa asetzen da -ereduaren arabera, asetu behar da-. Hubberten modeloaren puntu garrantzitsuena zera da: ekoizpen metatuak azken burukoaren erdia gainditzen duenean, gehieneko balioa jotzen du ekoizpen erritmoak (P), eta hortik aurrera behera doa.

Hubberten ereduak ez zen batere berria. Adierazpena *ekuazio logistiko*arena da, XIX. mendetik ezaguna, eta oso erabilia zientzia-arlo batzuetan, adibidez biologian, izaki bizidunen populazioaren bilakaera modelatu eta azaltzeko.

Hubberten ereduak sinplezia izan daiteke, hainbat fenomeno eta mendekotasun -salneurriarena, edo merkatuaren eskaerarena kasu- kontuan hartzen ez baititu. Alabaina, modeloa ibili, badabil! Petrolioaren ekoizpenaren bilakaera historikoa ereduaren sartuta, doiketa nahiko ona gertatzen da. 4. kapituluan, ASPOk (*Association for the Study of Peak Oil*, petrolioaren ekoizpen gorenari ikertzen duen elkarte) egindako proiektzioak aztertuko ditugunean, itzuliko gara Hubberten modelora, beste ondorio larri batzuetara heltzeko.

Hubbertek proiektzioak egin zituen unean, AEBetan ordura arteko petrolio ekoizpen metatua 52,4 mila milioi upelekoa zen, eta erreserba probatuak, 30 mila milioi upel baino gehiago. 50eko hamarkadan, Hubbertek ez zekien zehazki zenbat petrolio geratzen zen aurkitzeke AEBetako lur azpian -gogora dezagun urte horietan Alaskako hobiak, adibidez, aurkitzeke zeudela-; horregatik, bere kalkuluetan, petrolioaren azkeneko erreserbentzat bi muturreko kopuru hartu zituen kontuan. Alde batetik, gutxieneko kopurutzat, 150 mila

milioi upeleko azkeneko erreserbak hartu zituen, eta bestetik, gehieneko zenbatekotzat, 200 mila milioi upeleko erreserbak. Hubberten aburuz, 5. irudian ikusten denez, AEBetan, petrolioaren ustiapenak goren joko zukeen 70eko hamarkadan. Hubbertek erabilitako eredu estatistikoaren arabera, AEBetako petrolioaren ekoizpen gorena gutxi gorabehera erreserben erdia ustiatuta izango zenean gertatuko zen.



5. irudia. AEBetako petrolioaren ekoizpena, Hubberten arabera
(Itur.: EIA eta M.K. Hubbert, *Nuclear energy and the fossil fuels*).

(*URR: *Ultimately Recoverable Resources*, azken buruko baliabide berreskuragarriak)

2006 urtetik ikusita, esan behar dugu Hubberten iragarpenak huts egin zuela puntu batzuetan, iragarpen guztiekin gertatzen den bezala. Gaur eskuragarri dauzkagun datuen

arabera, AEBetako azkeneko erreserbak 230 mila milioi upelekoak dira, Hubbertek bere kasu baikorrenean suposaturikoak baino ugariagoak.

Hala eta guztiz ere, petrolioaren ekoizpenak 1972 urtean jo zuen puntu gorena, eguneko 11 milioi upeleko ekoizpen batekin. Urte horretan, AEBetan, 4,1 mila milioi upel petrolio ustiatu zen, mundu osoan ekoiztutakoaren %20,8 baino gehiago. Ustiapen abiadura hori, urteko 4,1 mila milioikoa, Hubbertek aurreikusitakoa -gehienez 3 mila milioi- baino altuagoa zen. Horrexegatik, Shell-eko geologoak iragarri zuenez, petrolioaren ekoizpen gorena 70eko hamarkadan gertatu zen AEBetan: erreserbak Hubbertek uste zuen baino handiagoak ziren, baina ekoizpena ere, indartsuagoa izatea gertatu zen.

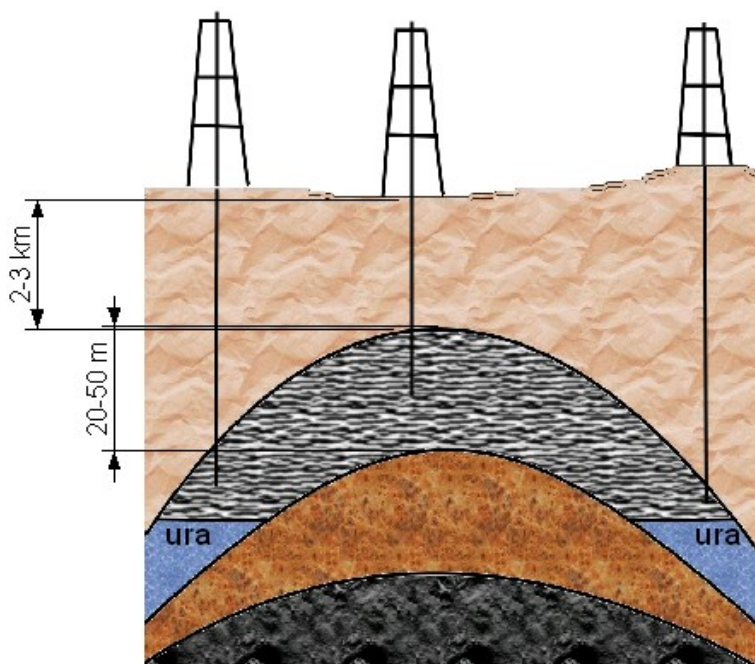
Geologo famatuak bere analisisetan erabili zuen modeloa, *Hubberten kurba* bezala da ezaguna. Kurbaren puntu gorenari, *Hubberten pikoa* edo *ekoizpen gorena* esaten zaio, eta kurbak kanpana-itxura daukan profila hobeto ulertzeko, petrolioaren erauzketari ekaini behar diogu begirada arretatsuago bat.

Petrolioaren erauzketa

Geologo gehienek ustez, petrolioak Kretazeo garaian sortu zen, orain dela 100 milioi urte inguru, milaka urtean zehar gertatutako prozesu geologikoen bitartez. Adu guztien arabera, petrolioak aro geologiko horietako itsasoetan egon ziren algetan dauka iturburu. Itsasoko algen hondakinak, hiltzean, itsas hondotan pilatu ziren, eta denboran zehar lokatz eta lurrekin estaltzen ziren. Mugimendu geologikoen bitartez, hondakin horietako batzuk sakonera egokienean geratu ziren lurperatuta, non eta milaka urteren buruan, goi presio eta tenperaturak eraginda, petrolio bihurtu baitziren. Petrolio sortzeko, tenperatura eta presio baldintza zehatzak behar ziren, normalean sakonera zehatz batean gertatzen

direnak -ez gutxiagoetan, ezta gehiagoetan ere-. Horregatik, geologoek petrolio hobiak bilatzen dituztenean, *petrolio-leiho*a deritzoten sakoneran egiten dituzte prospekzio lanak, nagusiki.

Petrolio hobiak lur geruza zehatz batzuetan baino ez dira agertzen. Lur azpian, arroka porotsuetan pilatzen da petrolio -belaki batean bezala-, eta iragazkaitz diren lur geruzak behar ditu hobiak inguruan, petrolio konfinatuta gera dadin. Hala, *petrolio-zutabea* deritzotena osatzen da, eta kasu gehienetan, haren azpian ura pilatzen da. Normalean, petrolio gas naturalarekin nahastuta aurkitzen da.



6. irudia. Petrolio hobi bat.

Petrolio hobi bat aurkitzea, pentsa daitekeena baino zailagoa da. 6. irudian erakusten denez, normalean, petrolio-leiho 2 eta 3 kilometro bitarteko sakoneran datza. Bestalde, petrolio geruzaren lodiera -petrolio-zutabea- 50 metro baino gutxiago izan daiteke;

gainera, petrolioa erazten den heinean, petrolio-zutabea mehetuz doa.

Hobiaren azalera oso aldakorra da, biltzen den petrolio kantitatearen arabera. Hobi erraldioenetan, aurrerago ikusiko dugunez, haien azalera ehunka kilometro karratukoa izatera hel daiteke. Modu grafikoan esanda, hobiak, arroka porotsuetan konfinatuta, sakonera handiko lur azpiko petrolio laku mehe moduan uler ditzakegu, aurkitzeko zailak -askoz zailagoak, sakonera handiko itsas eremutan bilatu behar badira-.

Urte askotan, lur azaleko egitura geologikoak aztertuz baino ezin ziren ezagutu petrolio hobiak; egun, baliabide teknologiko aurreratuenak erabiltzen dira: satelite bidezko argazkiak, eremu magnetiko eta grabitatorioaren neurketak, hiru dimentsioko neurketa sismikoak..., guztiak batera ordenagailu erraldioetan prozesatuta. Azken belaunaldiko modelatze teknikek, hobi inguruko estruktura geologikoko hiru dimentsioko irudiak ahalbidetzen dituzte, baita erazketa prozesuan zehar petrolioaren mugimendua nola gerta daitekeen jakitea ere. Lur azpian zer gertatzen ari den ezagutzea funtsezkoa da, ahalik eta petrolio gehien berreskuratu nahi bada.

Puntu honetan, behar-beharrezkoa gertatzen da *erreserba* kontzeptuari buruzko parentesi bat zabaltzea, dirudiena baino askoz mamitsuagoa baita. British Petroleumek bere txostenetako batean argi eta garbi ezartzen duenez:

Inork ez daki, ezta jakin ahal ere, zenbat petrolio existitzen den Lurraren azalean, edo zenbat ekoiztu ahal izango den etorkizunean³⁰.

30 *British Petroleum, Statistical Review of Oil Reserves, 2005, in*
<<http://www.bp.com/sectiongenericarticle.do?categoryId=9011008&contentId=7021601>>.

Petrolio erreserba kontzeptua nahiko lausoa eta irristakorra da, zuzenean ikusten ez duguna zehaztasun osoz mugatzea ezinezkoa delako. Horregatik, petrolioaren munduan zenbait terminorekin modulitzen da petrolioaren eskuragarritasuna.

Alde batetik, *azken buruko baliabide berreskuragarriak* (Ultimately Recoverable Resources, URR) dauzkagu, eta inoiz erauzi ahal izango den petrolio kantitatearen balioespena da. Lurraren azalean dagoena (*Oil in Place* delakoa) baino gutxiago da hau, petrolio guztia ezin izango baita erauzi. Gainera, hobi batetik azken petrolio tantak ateratzeko, gerta daiteke erauzketaren hasieran baino askoz energia gehiago behar izatea: une batetik aurrera, noiz eta petrolio erauzteko behar den energia, petrolioak eman ahal duena baino gehiago denean, petrolio gehiago ateratzeak ez dauka batere zentzurik, energia netoa galduko baikenuke bidean. Hobi berrien aurkikuntzek, baita aurrerakuntza geologiko eta teknologikoek ere, URR handitzea dakarte; hala ere, hainbat ekonomialariren ustearen kontra, petrolioaren salneurriaren igotzeak -eta horrek ekar ditzakeen aurrerakuntza teknologikoek- ez dute ahalbidetuko zenbatekoa nabarmenki handitzea. Ekoizlearen aurrean agertzen diren muga garrantzitsuenak ez dira ekonomikoak, geologikoak eta energetikoak baino -termodinamikoak, esan behar-. Kalitate txarreneko petrolio erabilgarri bihurtzeko, fintze prozesuetan -zeinetan erabilitako teknologiak dagoeneko oso garatuta dauden, eta intentsitate energetikoa gutxitzea oso zail gertatuko den- energia pilo behar da; sakonera handiko itsas hondoreen azpian, hainbat kilometrotan lurperatuta dauden hobiak ustiatzeko, gerta daiteke ateratzeko gehien kostatzen diren upelen ekoizpena energetikoki errentagarria ez izatea.

Edonola ere, URRa, balioespena den heinean, subjektiboa da, eta denboran zehar

aldatzen da. Aritu gehienek³¹ 1,5 eta 2,5 bilioi upel artean kokatzen dute zenbatekoa. Aldi berean, azken buruko baliabide berreskuragarriak normalean hiru zatitan banatzen dira: *ekoizpen metatua*, *aurkitutako erreserbak* eta *aurkitzeke geratzen diren baliabideak*. Azken bi kontzeptuak dira irristakorrenak, bereziki aurkitzeke geratzen denarena. Horregatik, erreserben datuak ematen direnean, aurkitzeke geratzen direnak ez dira kontuan hartzen, normalean. Gauzak zailtzeko, aurkitutako erreserben izaera ez da batere homogeneoa, eta haiek ere hiru motatan sailkatzen dira, ziurtasunaren arabera -ez dezagun ahaztu erreserbak balioesten direla-: *erreserba frogatuak* (zeinak baino handiagoak izateko aukerak, hobiaren bizitzan zehar, %90 baino altuagoak diren), *erreserba probableak* (handiagoak izateko aukerak %50 dira) eta *erreserba posibleak* (handiagoak izateko aukerak %10 baino ez dira). British Petroleumek plazaratutako txostenek, adibidez, erreserba frogatuak baino ez du kontuan hartzen.

Erauzketa prozesuak aurrera egiten duen heinean, erreserbak berreskuratzeko aukerak gero eta zehatzagoak dira, eta petrolio ekoizleek birsailkatu ohi dituzte erreserben izaera. Erreserben balioespena, hein handi batean, erauzketa prozesuaren mendean dagonez, itzul gaitezen hari buruzko azalpenetara.

Petrolio hobi barruan itxita dagoenean, presioak oso altuak dira. Horregatik, hobi batean, eraikitako putzu batek petrolioari ateratzeko bidea ematen dionean, petrolio bere kabuz azaleratzen da. Erauzketa prozesuak aurrera egiten duen heinean, baina, hobi barruko baldintzak -presioa, petrolioaren kokapena hobi barruan- aldatuz doaz. Azken batean, segun eta erauzketa prozesua nola egiten den, eta hobiaren ezaugarri geologikoak nolakoak diren, petrolio gutxiago edo gehiago berreskuratuko da, petrolioaren %100

31 J. Hakes, *Long Term World Oil Supply*, <<http://tonto.eia.doe.gov/FTP/ROOT/features/longterm.pdf>>.

berreskuratzea ezinezkoa baita.

Petrolio-berreskurapena, hein handi batean, petrolioaren kalitate eta arrokaen ezaugarrien mendean egongo da. Hareharrizko hobietan, adibidez, biskositate baxuko petrolioaren %70-80 berreskuratu ahal da. Ezaugarri ezin hobe horietakoak dira Texaseko hobi onenak, non eta petrolioaren %82ra arte berreskuratu ahal izan duten. Karbonatozko hobietan, aldiz, %20-45 berreskuratu ohi da. Mota horretakoak dira Persiar Golkoko hobi gehienak, baita Ipar Itsasokoak ere. Iragazkortasun baxuko hobietan, ordea, petrolio biskositate altukoa bada, %5 eta 15 artekoa baino ez da berreskuratzen.

Gutziz ezinezkoa da petrolioaren %100 berreskuratzea. Hobi onenetan, berreskuratzeoko errazena -eta merkeena- %20-25 baino ez da ohi izaten. Gainera, zergatik dira hain zabalak tarte horiek, berreskuratu ahal denaren kopurua mugatzeko? Ahalik eta petrolio gehien berreskuratzeoko, erauzketa prozesua ezin delako edonolakoa izan. Hau da, berreskurapena, erauzketa prozesuaren mendean dago, ere bai.

Normalean, petrolio hobi baten erauzketa hiru fasetan banatzen da. Prozesuaren lehenengo fasean, putzuaren kanalizazioak petrolioari ateratzeko bide bat eskaintzen dionean, likido beltza bere kabuz azaleratzen da hobi barruko presioak eraginda, gas naturalarekin nahastuta. Logikoa denez, petrolio ateratzen den neurrian, presioa jaisten da, poliki. Maila zehatz baten azpitik jaitsita, presioa ez da nahikoa petrolio bere kabuz atera dadin. Baldintza onenetako hobietan, lehenengo fase horretan erreserben %20 eskura daiteke; haren iraupena erreserben tamaina eta erauzketa erritmoaren mendean egongo da, urte gutxietatik askotarakoa izan arte.

Presioa aski ez denean petrolioa bere kabuz azalertzeko, bigarren fasea hasten da. Honetan, hobi baten alboko putzuetatik, ura edota gasa sartzen da hobi barrura. Horrela, barruko presioa, petrolioa gora bultzatzeko beharrezkoa den mailan mantentzen da. Fase horretan erauzten den petrolioa, gero eta ur gehiagorekin nahastuta ateratzen da hobotik. Erauzketa prozesuak aurrera egiten duen heinean, petrolio-zutabea gero eta meheagoa da. Hala izanda, gero eta kritikoagoa da putzuetako hodian ahoak sakonera egokienean kokatzea. Gogora dezagun petrolioa mila metro baino gehiagoko sakoneran kokatutako hamarreko batzuetako lodierako geruza baten barruan dagoela, urak inguratuta. Hodiaren ahoa ur eremura sartzen bada, petrolioa zurgatu beharrean, ura izango da putzuak erauzten duena. Arrazoi horrengatik, azken hogeitun hodi topologia berriak hasi dira erabiltzen, nabarmenki zulatze horizontal eta norabide anitzeko hodiak. Modu horretaz, zurgatze ahoak modu errazagoan mantentzen dira petrolio eta uraren arteko mugetatik urrun. Hala eta guztiz ere, presioa altu mantentzeko uraren injekzioa erabiltzen denez, ia ezinezkoa da petrolioa urarekin nahastuta ez ateratzea. Larriagoa denez, presioa oso ondo kontrolatzen ez bada, gerta daiteke sartzen den urak zurgatze ahoraino bide zuzen bat aurkitzea, petrolioarekin batera ateratzen den uraren ehunekoa nabarmen igoz; hori suertatzen bada, hobi barruan petrolio eta uraren arteko mugak aurrera egingo du, petrolioa atzean utziz. Adituen arabera, hala gertatzeko aukerak nabarmen ugaritzen dira sartzen den uraren presioa altuegia bada.

Askotan, petrolio erauzketaren erritmo sendoak lortzeko asmoz, ekoizleek uraren presioarekin jokatzeko dute, epe ertainean bilatutako helburuaren kontrakoa lortuz: hau da, erauzitako petrolioaren zenbateko metatua murriztuz. Hobi barruko presioa modu egokienean ez kontrolatzearen beste ondorio ez-desiratu bat, petrolioa eta gas naturala banantzea izan daiteke, petrolioaren erauzketa areago zailduz.

Alboko putzuetatik kontrolpean ura sartzea nahikorik ez denean petrolioa azalera dadin, hirugarren fasea hasten da, askoz garestiagoa dena. Fase horretan, uraren injekzioa ez da nahikoa petrolioa erratzatzeko, eta ponpak erabiltzen dira barrutik likido preziatua zurgatzeko. Beste batzuetan, bapore beroa injektatzen da, beste ekorketa bat egiteko hobian zehar. Arestian esan dugunez, AEBetako petrolio ekoizpena maldan behera doa, puntu gorena dagoeneko igarota. Herrialde horretako putzu zaharrenak dira, hain zuzen, etorkizunean mundu osoan zehar aurkitu ahal izango denaren adibide zuzena -ezusteko aurkikuntzak gertatzen ez badira, noski-. Texasen, esate baterako, putzu zaharrenek ematen dutenaren gehiengoa ura da, %90 baino gehiago, eta haietako gehienetan ponpak erabiltzen dira petrolioa ateratzeko.

Zein egoeratan daude munduko hobi garrantzitsuenak? Zein fasetan kokatzen dira? Uler daitekeenez, errealitatea anitza da oso. Edozein modutan, egoera orokorraz jabetzeko asmoz, erreserba gehien metatzen duen herrialdeari begiratuko diogu.

Kasu praktiko bat: Saudi Arabia

Mathew “Matt” Simmons energia sektoreko aholkulariak, liburu interesgarri bezain polemikoa³² idatzi du berriki, non eta munduko herri ekoizlerik ahaltzuena eta haren azken urteotako bilakaera ikertzen dituen, petrolio sektorearen hainbat teknikari eta ingeniari argitaratutako ehunka artikulu teknikoren ikerkuntzan oinarrituta. Saudi Arabiako petrolio ekoizpenaren egitura eta ezaugarriek modu ezin hobean islatzen dituzte sektorearen gaurko ahuleziak eta arriskuak. Gauzak zailtzeko, Ekialde Ertaineko herri guztietan sistema politiko feudalak egon dira indarrean, betidanik. Haiek sortzen dituzten iluntasunak eta informazioa emateko askatasun ezak ez dute batere laguntzen hain

32 Mathew R. Simmons, *Twilight in the Desert. The Coming Saudi Oil Shock and the World Economy*. 2005.

garrantzitsua den sektore produktibo baten jarraipen zorrotza egiteko.

Ekialde Ertaina da munduan petrolio gehien biltzen duen eskualdea. Orain dela milioika urte petrolio sortzeko behar ziren baldintza geologikoak, modu ezin hobean bildu ziren han. Hala izanda, gaur egun, munduko hamabost hobi handienetak, hamaika Ekialde Ertainean daude; zehazki, Persiar golkoan bertan eta hura inguratzen duten lur eremuetan: Saudi Arabiako iparraldean, Kuwaiten, Irakeko kostaldean eta iparraldean, Irango kostaldean, eta Arabiar penintsulako iparekialdean dauden herrialde guztietan (Bahrein, Qatar, Oman eta Arabiar Emirerri Batuak).

Orokorki, munduan, badago zabaldua eskualdeko petrolioari buruzko ideien bat, zeinaren arabera munduko zati honetan petrolio nonahi aurki daitekeen, eta petrolio ia nahi barik azaleratzen den. Uste zabaldu hori, ordea, ez da batere zehatza. Egia da Persiar Golkoaren inguruan petrolio biltegi izugarriak daudela, eta salbuespenezko hobi batzuk azaleratik gertu kokatuta daudela. Hala eta guztiz ere, aurreko atalean azaldu denez, petrolio hobi gehienak kilometro bat baino gehiagoko sakoneran dautza, eta guztiz ezinezkoa da pikatxoi eta pala batekin haraino heltzea, baten batek uste dezakeenaren kontra. Beste aldetik, Ekialde Ertainean petrolio ugari dagoela egia izanik, eskualdean askoz ugariagoak dira batere petroliorik ez dagoeneko gunek. Eskualdeko edozein lekutan zulo bat egingo bagenu, petrolio aurkitzeko aukerak Euskal Herrian gauza bera egingo bagenu baino askoz handiagoak izango lirateke -egia esateko, hemen, aukerak %0,0 dira-, baina aurrerago ikusiko dugunez, ez dira uste daitekeen bezain altuak. Ikuspegi zehatzago bat izateko, ikus ditzagun Saudi Arabiako petrolio hobien ezaugarriak.

Zenbat petrolio dago Saudi Arabian? Egia esateko, ezin jakin, iritzi kontrajarriak baitaude.

British Petroleumen arabera³³, Saudi Arabiako egungo erreserba frogatuak 262,7 mila milioi upelekoak dira (262,7 Gb), hau da, munduko erreserben %22. Hala ere, British Petroleum korporazio multinazionalak eskura jartzen dituen datuak, Saudi Arabiako gobernuak eta Saudi Aramco korporazio petrolifero nazionalak ematen dituzten datu ofizialetan oinarritzen dira, eta badaude herrialde honetako erreserbak askoz apalagoak direla deritzotenak. Petrolio sektorean urte luzez jardun duen Colin Campbell geologoaren aburuz, Saudi Arabiako erreserbak 154 mila milioi upel dira³⁴. Beste aldetik, Irango Petrolio Konpainia Nazionalan luzez jardun duen eta Saudi Arabiako petrolio sektorea hurbiletik modu ezin hobean ezagutzen duen Samsam Bakhtiari adituak, herri honetako erreserbak 120 eta 140 arteko mila milioi upeletan balioesten ditu³⁵. Ikusten denez, aldeak nabariak dira, eta hortik ondorioztatzen da batzuek eta besteek ematen dituzten datuak arretaz hartu beharko ditugula.

Ziurtzat eman dezakeguna, zera da: munduko petrolio hobi erraldoiena Saudi Arabian dagoela, eta ziur aski, holako hobi erraldoirik ez dela inoiz berriro aurkituko. Hobi famatuak Ghawar³⁶ du izena, eta munduko erraldoiena da, egundoko aldearekin, gainera. Haren azalera 8.100 kilometro karratu da. 2 kilometroko sakoneran datza, 50 metro inguru baino ez da mehe, eta 30 bider 280 kilometroko eremu batetik barreiatzen da. Hain da luze eta zabala, zeren lehenengo putzuak petrolio aterazten hasi zitzaizkionean, batzuk besteengandik nahiko urrun zeudenez, teknikariek pentsatu baitzuten hobi desberdinetan ari zirela petrolio ateratzen. Geroago, konturatu ziren egitura geologikoa bera zela haien azpian petrolio biltzen zuena.

33 *BP Statistical Review of World Energy. Putting energy in the spotlight*, 2005eko ekaina, BP, 4. or.

34 ASPO Newsletter #64, 2. taula apendizean, 11. or.

35 "687. Middle East Reserves", in ASPO Newsletter #63, 11. or.

36 Mathew R. Simmons, *Twilight in the Desert*. 7. kapitulua, 151-179 or.

Ghawarek metatzen duen petrolio kopurua izugarria da. Hobi honetaz iluntasuna nagusi izan arren, balioespen fidagarrienen arabera³⁷, orain arte ekoiztako petrolio 55 mila milioi upel da gutxi gorabehera, eta erreserbak 70 mila milioi upel dira, mundu osoko erreserben %6,2. Ekoizpen erritmoa ere, izugarria da. Eguneko, hobi erraldoi honetatik, ehunka putzuren bitartez, 5 milioi upel petrolio ateratzen da, Saudi Arabian ekoizten denaren hiru laurden, eta mundu osoko ekoizpenaren %6,1.

Hala eta guztiz ere, Ghawar ez da Saudi Arabian dagoen hobi erraldoi bakarra. Horrengandik ez oso urrun, Safaniya (1977an plazaratutako erreserbak: 14,4 mila milioi upel), Berri (6,4 mila milioi upel), Abqaiq (ia 4 mila milioi upel) eta Abu Sa'fah (3,7 mila milioi upel) ere sartzen dira, meritu osoz, hobi erraldoien sailkapenean³⁸.

Munduan, petrolio dagoen leku bat baldin badago, leku hori Saudi Arabia dela eztaba daezina da. Alabaina, hainbesterako izango da? Hango jendea, lur azpiko petroliozko lakuen gainean bizi al da? Har ditzagun kontuan Ghawar hobi erraldoiaren azalera eta haren petrolio erreserbak. Kasu baikorrean Ghawar-en bildutako erreserbak Saudi Arabiako %27 eta munduko %6,2 baldin badira, eta Ghawarren azalera 8.100 kilometro karratu baldin bada, orduan, egitura geologiko antzekoetan bilduta, Saudi Arabiako petrolio erreserba guzti-guztiak 30 mila kilometro karratuko eremu batean sartuko lirateke; munduko erreserba guztiak, aldiz, 131 mila kilometro karratuko batean. Saudi Arabiako azalera 1,15 milioi kilometro karratu dela kontuan hartuta, ondorio zuzen bat atera daiteke: petrolio, egon, badago, baina aurkitu behar da! Matt Simmonsek bere liburuan azaltzen du AEBetako korporazioetako geologo eta ingeniariak Saudi Arabiara lehenengo aldiz heldu eta petrolio hobiak bilatzen hasi zirenean, gai izan zirela Ghawar

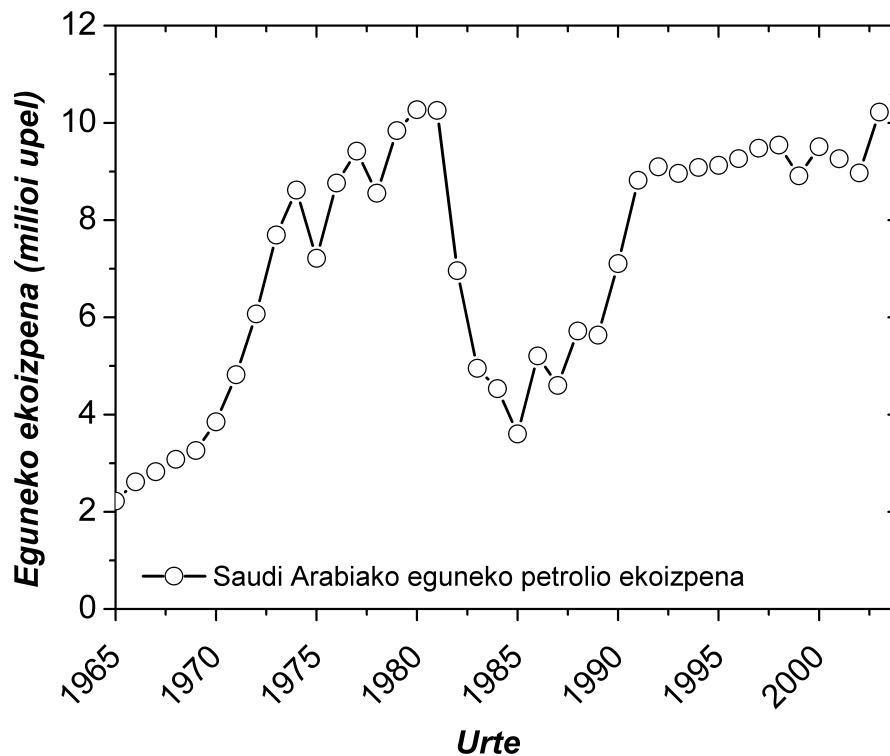
37 "448. Further Study on Saudi Arabia", in ASPO Newsletter #48, 3. or.

38 Mathew R. Simmons, *Twilight in the Desert*. 8. eta 9. kapituluak, 181-230 or. eta 372. or.

eta enparauen egitura geologiko zoragarriak hegazkinetik antzemateko³⁹. Saudi Arabian, eta orokorki Persiar Golkoko herrialdeetan, elkartutako baldintza geologiko apartekoek planetako edozein lekutan baino petrolio gehiago bildu zuten; alabaina, honek ezin digu sinestarazi eskualdean petrolio area bezain oparoa dela. Izan ere, azpian petrolio biltzen duen eremua, Saudi Arabia osoko %2,6 baino ez da. Larriagoa dena: ziur aski, aurkitu beharreko ia guztia dagoeneko aurkituta dago, eta etorkizunean nekez topatuko da Ghawar bezalako beste hobirik, ezta tamaina askoz gutxiagokorik ere.

Oso bestelako irudi bat sinestarazi nahi digute, baina, Saudi Arabiako gobernuak eta petrolio merkatuan ahalguztiduna den Saudi Aramco konpainiak. Haien arabera, Saudi Arabiako erresebak 262 mila milioi upelekoak dira, eta datozen 15 urtez, ekoizpen erritmoa eguneko 15 milioi upeletan mantendu ahal dutela ziurtatzen dute. Saudi Arabiako petrolio putzuek, baina, ez dute inoiz eguneko 12 milioi upel baino gehiago ekoiztu, modu iraunkorrean. Gainera, ekoiztutako petrolio gehiena, orain dela 40-60 urte aurkitutako hobi erraldoietatik isuritakoa da. Hobi gehienak, munduko artean handienetakoak izanik, hamarkadaz hamarkada aritu dira petrolio ekoizten, erritmo sendoz. Sektorea hurbiletik ezagutzen duten adituen arabera, hobiak zahartzen ari dira. Horren seinale garbia zera da: gehienetan, uraren injekzioa beharrezkoa dela. Matt Simmons eta beste batzuen ustez, erauzketaren bigarren fasea amaitzear dago Saudi Arabiako hobi gehienetan; ekoizteke utzi eta "kotoi artean" gordetako hobiak -egon, badaude-, askoz txikiagoak dira. Eguneko 15 milioi upeleko ekoizpen horrek guztiz eskuraezina dirudi; alegia, Saudi Arabian, 7. irudiak erakusten digunez, ekoizpen gorena 1980an gertatu zen, 10,3 milioi upeleko ekoizpen batekin. Susmo guztien arabera, hesi historiko hori luzez gainditzea aski zail gertatuko da.

39 Ibid., 30. or.



7. irudia. Saudi Arabiako petrolio ekoizpen historikoa (Itur.: BP).

Findegiak

Petrolio gordina hainbat hidrokarbu eta ezpurutasunen nahaste bat da, zeinaren osaketa zehatza, hein handi batean, iturburuaren mendean dagoen. Findegiek petrolio gordina prozesatzen dute, frakzio desberdinetan bereiziz. Batzuetan, frakzio horiek zuzenean erabilgarriak dira industrian; gehienetan, frakzioak gehiago zatitu edota elkartzen dira, beste produktu erabilgarri batzuk sortzeko.

Findegietan ekoizten diren produktu nagusiak erregaiak dira. Alabaina, findegien jarduera eta egitura nagusiki erregaien ekoizpenak baldintzatuta izan arren, findegien bestelako ekoizpena guztiz beharrezkoa eta funtsezkoa gertatzen da sektore kimiko-

industrialarentzat, lehengai moduan hainbat eta hainbat produktu kimiko egiteko. Findegietan ekoizitako erregai ez diren produktu garrantzitsu batzuk honako hauek dira: naftak, propilenoa, butilenoa, polimeroak, hidrokarbuo aromatikoak, olio lubrifikatzaileak, asfaltoa eta galipota, ezkoak, kokea... Produktu horiek funtsezkoak dira plastiko, zuntz sintetiko, altzairu, errepide, margo, disolbatzaile eta hainbeste produktu kimiko fabrikatzeko.

Petrolio findegiak gune kimiko-industrial oso konplexuak dira. Ekoizpen katea luzea da oso, produktu gordinaren ezaugarrien arabera -munduan zehar erazten den petrolioaren ezaugarriak eta kalitatea oso aldakorak baitira leku batetik bestera- eta merkatuak eskatzen dituen azkeneko produktuen arabera. Findegietan, ekoizpen katea hainbat modulu eta prozesu kimikok osatuta dago, normalean bi fasetan bereizita. Lehenengo fase batean *-hydroskimming* izena hartzen du, eta munduko findegi sinpleen eta minimoen konfigurazioa da-, ezipurutasun nagusiak kendu ondoren -bereziki sufrea-, petrolioaren frakzio nagusiak erdiesten dira destilazio eta prozesu katalitikoaren bitartez: gasolinak, diesela, kerosenoa, fuel-olioa eta abar. Fase horretan, erregai arin batzuk ere ateratzen dira: metano, etano, baita propano eta butano ere, askotan erregai moduan findegian bertan erabiliko direnak -ezin ahaztu prozesu horiek guztiak oso intentsiboak direla energiaren erabileran: petrolioan aurkitzen diren hidrokarbuo desberdinak bereizteko prozesuetan, nahiz molekula horiek zati txikiagotan banatzeko burutzen diren prozesuetan, tenperatura altuak dira baldintza nagusienetako bat-. Fase honetan erdiesten dira gasolinaren eta orokorrean garraiorako erregaien osagai nagusiak.

Bigarren fase batean, aurreko fasean lortutako frakzio astunenak -nagusiki fuel-olioa, asfaltoak eta abar, merkatuetan beste produktu deribatu batzuek baino balio erantsi

gutxiago dutenak- gehiago zatitu, elkartu edota aldatzen dira, hidrokarburoen egitura molekularra sakonki eraldatuz. Ingeniaritza kimiko honen bitartez -hutsean egindako destilazioa, *cracking* izeneko prozesua eta beste-, merkatuan balio erantsi gehiago duten produktuak erdiesten dira: nagusiki gasolina ekoizteko beharrezkoak diren osagaiak, baita hainbat produktu egiteko beharrezkoak ere: zuntz sintetikoetatik zapatak garbitzeko erabiltzen ditugun ezkoetaraino. Merkatuaren beharrak -edota petrolio gordinaren kalitatea edo osagarriak- aldatzen badira, findegiak aldatzen ditu ekoizpen unitateak, egoera berrira egokitzeko. Sektorearen malgutasun teknikoa handia da, baina inbertsio beharrak ere ez dira makalak aldatu beharra dagoenean.

Azken hamarkadan beste prozesu batzuk ere hasi dira findegietara sartzen, han sortutako hondakinen erabilera eta efizientzia energetikoa hobetze aldera. Hondakinen gasifikazioaren bitartez -kanpoan erositako gas naturalarekin batera, findegiak gas naturalaren erabiltzaile nagusienetakoak baitira-, hondakinak murrizteaz gain, hidrogeno, bapore baita elektrizitatearen ekoizpena ere errazten da, gehienetan baterako sorkuntzako tekniken bidez. Azken urteotan, erregaien prezioen gorakadak bultzatuta, Kiotoko Protokoloarekin batera, sektoreak ahalegin handia burutu du findegietako prozesuetan energia hobeto erabiliz eta aprobetxatuz. Findegiak oso intentsiboak dira energiaren erabileran: batez besteko, findegi batera sartzen den petrolio gordinaren energiaren %7 inguru erabiltzen da prozesuetan. Uler daitekeenez, hobekuntza energetiko oso txikiek aurrezte ekonomiko eta energetiko nabarmenak dakartzate.

Euskal Herrian dagoen findegi bakarra, Muskizen dago kokatuta, Petronor enpresakoa. Espainiako findegirik handiena izanik, urtean 12 mila tona produktu ekoizteko ahalmena dauka. Oliobide baten bidez, hidrokarburoen garraio eta biltegitratzeaz arduratzen den

CLH enpresako instalazio batekin dago lotuta, eta haren bitartez Espainiako oliobide sare nagusiarekin. Petrolio findegira itsasotik sartzen da, Punta Luceron kokatutako 2.444 metro luze kai-muturrera porturatzen diren petrolio-ontziek hornituta. Urtean, 30 milioi tona petrolio jaso ahal da, eta 16 milioi tona gas likidotu⁴⁰.

Gas naturala

Munduan kontsumitzen diren gas natural mota guztietatik, metanoa (CH₄) da garrantzitsuena. Lur azpitik erauzten diren gasetatik arinena izanik -metanoz gainera, propano, etano, butano eta abar erauzten baitira-, metanoak komertzialki estaltzen den eskaintzaren %75 baino gehiago eransten du.

Orokorrean, gas naturalaren jatorria eta sortzeko baldintza geologikoak petrolioaren antzekoak dira. Gasa sortzeko prozesu geologikoetan behar diren temperatura eta presioak petrolioaren kasuan baino altuagoak direnez, gas hobiak sakonera handiagotan aurkitzen dira, nahiz eta kasu askotan petrolioarekin batera nahastuta aurkitu.

Gas naturalaren erabilera masiboa petrolioarena baino beranduago ugaltu zen. XX. mendeko bigarren zatian barrena, usaingabeko gas honen erabilera sektore industrial ia guztietara barreiatu zen, haietako batzuetan funtsezkoa izan arte. Azken urteotan munduan gehitzen ari den sorkuntza elektrikoko instalazio gehienak gas naturalaren errekuntzan oinarrituak dira, ziklo konbinatuak erabiliz. Herrialde garatuetan, gasaren errekuntza ugaldua da oso, etxebizitzetan berokuntza eta ur bero hornitzeko. Industria petrokimikoan, gas naturala oinarritzko lehengaia da, eta sektore askotan, pentsa genezakeen baino garrantzitsuagoa da gasaren beharra: nekazaritzan guztiz funtsezkoak

40 Petronor enpresaren datu nagusiak in <http://www.bm30.es/socios/empresas/petro_es.html>

diren ongarrien ekoizpen sektorean, esate baterako, gas naturala da prozesu osoa elikatzen duena, eta konplexu barik esan dezakegu gaur egun, nekazaritza teknika modernoak erabiltzen diren herrialdeetan -ongarri eta pestizida sintetikoak nagusi diren herrialdeetan-, hein handi batean, gas naturala ere badela jaten duguna.

Hala ere, sektore produktibo barruan gasa sartzea berriki samar gertatu da. Saudi Arabian, petrolioaren ekoizpena ugaltzen hasi zenean 1950eko hamarkadan, urre beltzarekin batera hodietatik ateratzen zen gasa ez zen komertzialki aprobetxatzen, eta putzuen ondoan bertan erretzen zen, haren prozesatzearekin gehiago ez korapilatzeko. Arabiara urte horietan gauean hegazkinez bidaiatutakoek diote ikuskizun itzela zela petrolio erauzketa zelai guztiak sutan ikustea, gasaren erretzea zela eta. Saudi Arabiako -eta aldi berean munduko- korporazio petrolifero nagusia, Saudi Aramco, laster hasi zen gasaren erauzketa komertzialki ustiatzen, harik eta gaur egun, munduko konpainia petrokimiko garrantzitsuenetariko bat osatu arte.

Arestian esan dugunez, metanoa beste gas mota batzuekin batera ateratzen da lur azpitik: propanoa, butanoa eta abar, astunagoak direnak eta zenbateko askoz murrizagotan erauzten direnak. Metanoa, bere aldetik, gas arinena izatearekin batera, koloregabeko eta usaingabekoa da. Gas komertzialari, konposatu sufredun bateko zenbateko ñimiño bat eransten zaio, gas-ihesa gertatzen bada, usain desatseginak ihesaren berri eman dezan, lehegarria baita, airearekin batera, baldin eta ehuneko tarte zehatz bateko nahaste bat osatzen bada.

Gas naturala zoragarria da, abantaila nabarmenak eskaintzen baitizkigu. Haren erauzketa erraz-erraza da: gasa bere kabuz ateratzen delako hobitik, bidea ematen bazaio. Gainera,

erregai fosiletatik garbiena da. Bere molekuletan hidrogeno eta karbonoko atomoen arteko ratioa altuena duenez -lau hidrogeno, karbono bakoitzeko-, gasaren errekuntzak, ikatz eta petrolioarenarekin konparatuta, CO₂ gutxiago isurtzen du, eta printzipioz, ikatz eta petrolio erretzen duten zentralak gasekoekin ordezkatzekak negutegi efekturako hain kaltegarriak diren CO₂-ko isurketak murrizten ditu. Gainera, gas naturala ia bakarrik metanoz osatuta dagoenez beste materiaren arrastorik gabe, errekuntzan, karbono dioxido molekula beste partikularik ez da isurtzen.

Gasaren dentsitate energetikoa oso altua da; petrolioaren deribatuena bezain altua izan ez arren, presio atmosferikoan metro kubikoko 32 eta 42 MJ artean kokatzen ohi da, jatorriaren arabera.

Gas naturala, giroko tenperaturan, nahiko erraz garraiatzen da, mundu osoan barrena -baita itsas eta laku batzuetan barrena ere- azken hamarkadetan zehar ehundutako gasbide sareetatik. Gasaren itsas garraioa ere posible da, eskala handian egiten bada. Zero azpiko 160 graduan gasa likidotzen da, presio atmosferikoan. Hala, metanoaren bolumena 600 aldiz murrizten da, gaseroen tangetan milioika metro kubiko gas sartzea ahalbidetuz, eta distantzia luzeko LNGaren (*Liquified Natural Gas*, gas natural likidotua) garraioa hein handi batean erraztuz eta kostuak murriztuz. Itsasontzi gasero bakoitzak 100.000 m³ LNG baino gehiago garraiatzen du, gutxi gorabehera EAEn 2004 urtean bi asteko batez besteko kontsumoa⁴¹.

Herrialde ekoizleetan, likidotze prozesua hasi baino lehen, gasari osagarri azidoak eta hezetasuna ateratzen zaizkio. Likidotzea hozte prozesu baten bitartez burutzen da,

41 *Energia 2004. Euskadi Datu Energetikoak*, Energiaren Euskal Erakundea, 2005, 22. or.

zeinean metanoa baino astunagoak diren gas osagaiak kentzen zaizkion, metanoko %90 baino gehiagoko kontzentrazioko gas likidotua lortuz. Esperokoa denez, likidotze prozesua nahiko intentsiboa da energiaren erabileran -nagusiki bero eta elektrizitatea-, LNGaren kostu energetiko eta ekonomikoa nabarmen handituz. Behin gasa likidotuz gero, gasero erraldioen tangetara sartzen da metanoa, “tanga beste tanga baten barruan” printzipioa erabiliz, isolamendu termikoa berma dadin eta likidotasuna mantentzeko beharrezkoak diren tenperatura baxuak gal ez daitezten. Helmugako portuetan, gas likidotua gaseroen tangen antzeko deposituetan gorde daiteke, baino ohikoena gasaren birgasifikazioa da, zeina kontrolpeko berotze prozesu baten bitartez lortzen baita, LNGaren erabileraren kostu energetikoa gehiago handituz. Gasifikazioa gertatu ondoren, gehienetan gas sarera injektatzen da gasa, gasbideetatik garraiatzen denarekin nahastuz, eta beste erabilerarako prest geratuz.

Hala eta guztiz ere, askotan gasa ez da berehala kontsumitzen, baizik eta zenbait modutan pilatu eta bildu. Aukera bat, noski, egoera likidoan gordetzea da, zeren hala beharrezkoa den bolumena nabarmenki murrizten baita; edonola ere, likido gordetzea ez da aukera bakarra. Gasa biltzeko egitura preziatuenak, gas eta petrolio hobi hustuak dira, alegia. Haietan, gasa injektatu eta erauzteko instalazioak prestatuta daude jada, eta gasa gordetzeko beharrezko kostu finkoen zati handi bat amortizatuta dago, hein handi batean. Akuiferoak eta antzeko egitura geologiko naturalak ere erabiltzen dira gasa lur azpian pilatzeko, eta gehiegizko eskaera bat gertatzen denean, edo gasaren prezioa nabarmen igotzen denean, ateratzen da gasa, merkatuak eskuragarri izan dezan salneurri baxuagotan, edo etekin ekonomiko gehiagorekin.

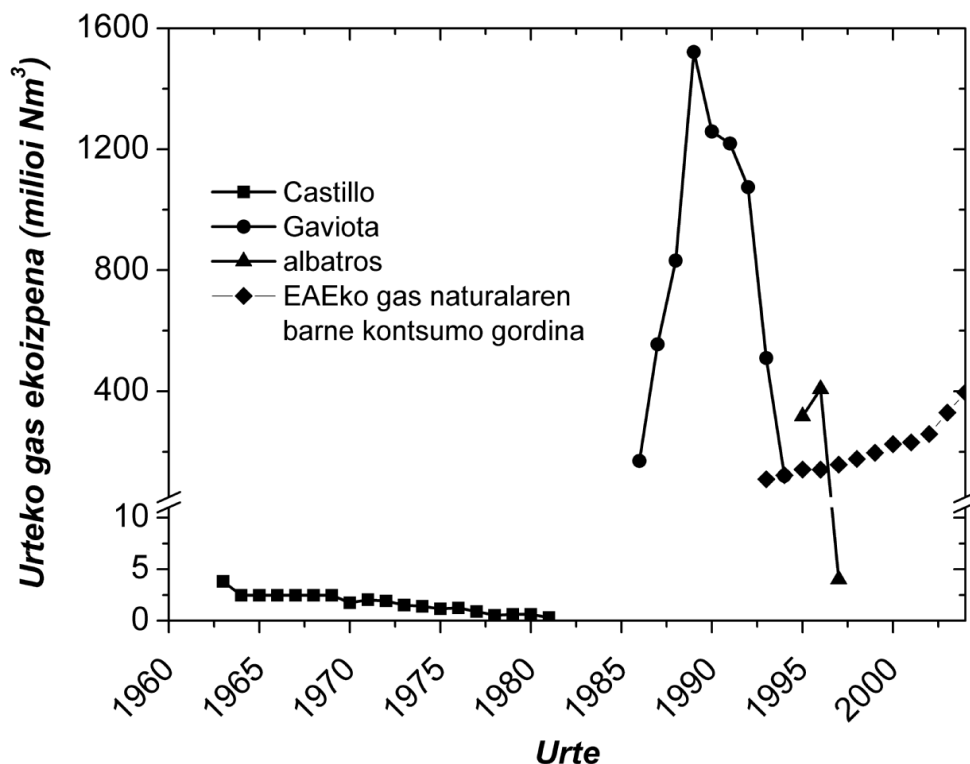
Gasa, era konprimatuan ere gorde daiteke, CNG (*Compressed Natural Gas*, gas natural

konprimatua) delakoa sortzen. Hala ere, CNGa eskala txikian bakarrik erabiltzen da, gehienetan ibilgailuetan. Gerta litezkeen su arriskutsuek eta presio altuak (200 atmosfera baino gehiago) eragindako istripuak saihesteko, deposituen miaketak eta kontrolak zorrotzak eta gogorrak ohi dira, bideragarritasun tekniko eta ekonomikoak haien erabilera garraio publikorako baino ez utziz.

Euskal Herrian ere, gasari dagokionez, badauzkagu gure Hubbert-eko kurbak, lau hobi ustiatu baitira Euskal Herrian azken 50 urteotan: Castillo hobia, Araban kokatuta Gasteiz inguruan, alde batetik; eta Gaviota I eta II, eta Albatros, Kantauri itsasoan, itsasertzetik ez oso urrun, bestetik. 8. irudiak erakusten du lau hobi hauen erauzketa historikoa⁴². Castillo hobiaren ekoizpena 60 eta 70eko hamarkadetan gertatu zen, ekoizpen metatua oso apala izanik. Gaviota I eta II hobien ekoizpena, aldiz, askoz garrantzitsuagoa izan zen. Bermeo ondoan dauden hobi horien erauzketa 1986an hasi zen, eta 1995 urtera arte iraun zuen, tamaina txikiko erauzketa baten Hubbert-eko ohizko kurba bat erakutsiz. Albatros izeneko hobia hurrengo hiru urteetan ustiatu zen, ekoizpen maila askoz apalago batekin. Gaviota gas hobien ustiaketa oso garrantzitsua izan zen, ekoizpenak iraun zuen bitartean⁴³. Urte horietan, EAEk gasaren buruaskitasuna lortu zuen, eta horri esker, 1989an auto-hornidura energetikoa %33koa izatera heldu zen.

42 *Estadística de exploración y producción de hidrocarburos 2004*, Comisión Nacional de Energía, <http://www.cne.es/cne/doc/estad/exploracion_y_produccion2004.pdf>

43 *Energia Garapen Iraunkorrerantz. Euskadi 2010 Energia Estrategia*. Euskadiko Energia Politika, Eusko Jaurlaritzak, 111-114 or.



8. irudia. Gas naturalaren erauzketa, Euskal Herrian (Itur.: CNE).

Gaviota hobeiek, 2004. urtera arte Espainian erauzitako hidrokarburo guztien %28 baino gehiago eman zuten beren erauzketa-bizitzan. Egun, hutsik izanik, Estatuko gas biltegi handiena da, 2.480 milioi Nm³-ko bolumenarekin⁴⁴ -barruko presioa mantentzeko gutxieneko gas bolumen bat behar denez, bolumen erabilgarria 780 milioi Nm³ da. Instalazio horrek, gasbide sarera, EAEn eguneko kontsumitzen den gasa halako bi injektatzeko ahalmena dauka -aldez aurretik gasa han gorde bada, noski-.

EAEko gas sarea Espainiakoarekin guztiz integratuta dago. Espainian kontsumitzen den ia

⁴⁴ Gasa Nm³-tan neurtzen da, metro kubiko normaletan, hau da, normal deituriko baldintzapean neurtuta: 760 mm Hg-ko presio eta 0°C-ko tenperaturan. 1 Nm³ gas naturalak, ia 1 kg petroliok adina energia dauka.

gas osoa inportatzen da, eta haren banaketa nahiko orekatuta dago gas natural likidotuaren eta gasbideetatik inportatzen denaren artean. Gas likidotua penintsulako hainbat lekutan kokatutako birgasifikazio zentralen bidez injektatzen da gas sarera -Bartzelonan, Cartagenan, Huelvan eta Zierbenan-. Zierbenako *Bizkaiko Badia Gaseko* instalazioak martxan jarri ziren 2003an. Planta horrek, orduko 400.000 Nm³ gas likidotua birgasifikatzeko ahalmena dauka. Haren erdia, *Bizkaiko Badia Elektrizitateko* ziklo konbinatuko zentralera bideratzen da, energia elektrikoa sortzeko, 800 MW-eko potentziarekin.

Nazioarteko gasbideen konexioei dagokienez, aldiz, Levantetik sartzen da Aljeriatik datorren hodia -inportazio gehienak Afrikako herri horretatik baitatoz-, eta Espainiako Calahorra eta Frantziako Lacq hiriak lotzen dituen hobi batetik inportatzen da ipar eta ekialde Europatik ekarritako gasa. Espainiatik Euskal Herrira, gas naturala Errioxako Harotik sartzen da, 30 hazbeteko gasbide batetik. Berriki, iparraldearekiko konexioa indartzeko, *Euskadour* izeneko jario handiko gasbidea estreinatu berri da, Irundik hurbil⁴⁵.

70eko krisi energetikoak eraginda, ordudanik gasaren kontsumoa nabarmen igo da munduan, petrolioaren erabilera ordezkatzuz, bereziki bero eta elektrizitatearen sorkuntzan, eta herrialde garatuen bizitegi sektorean. 1973an gasaren kontsumoa energia primarioaren %16,2 zen. 2004an, aldiz, gasaren kontsumoa energia primarioaren %21 zen. Termino absolutuetan, azken 30 urteotan, gasaren kontsumoa 2,3 aldiz biderkatu egin da munduan, 10. taulan ikus daitekeenez.

45 *Berría*, 2006ko ekainaren 20a, asteartea, 8 eta 9. or.

Gas naturalaren kontsumoa				
	1973	1973	2003	2003
Sektore energetikoa (Mtpb)	(%)	(Mtpb)	(%)	
Hornidura primarioa	979	100,0	2.244	100,0
Sorkuntza elektrikoa (nagusiki ziklo konbinatua)	160	16,3	469	20,9
Sorkuntza bateratua (elektrizitate gehi bero)	51	5,2	275	12,3
Bero sorkuntza	0,7	<0,1	88	3,9
Azken kontsumoa	671	68,5	1.192	53,1
Industria sektorea	380	38,8	540	24,1
Garraio sektorea	18	1,8	62	2,8
Beste	273	27,9	590	26,3

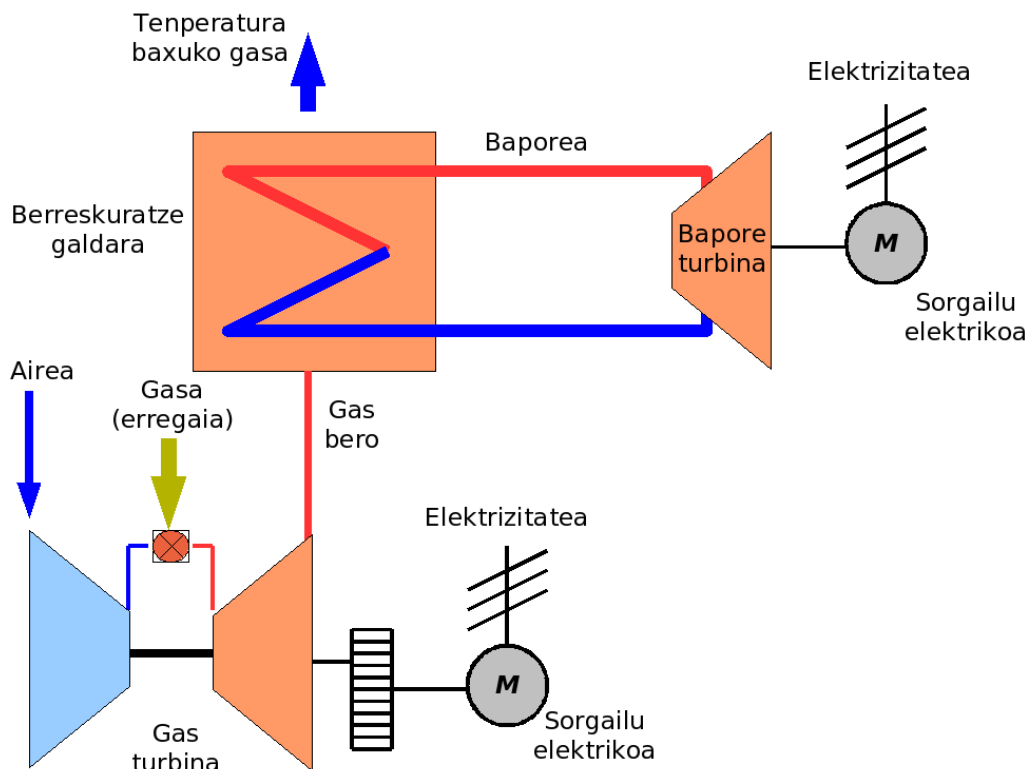
10. taula. Gas naturalaren kontsumoa 1973 eta 2003an (Itur.: IEA).

Herrialde askotan, bereziki CO₂-ko isurketetariko begirunea handia eta kontrolatua denetan, azken urteotan sorkuntza elektrikorako gehitzen den ahalmen ia osoa gasaren errekontzian oinarritzen da, ziklo konbinatuen bitartez. Horregatik, 2003an, munduan ekoiztutako gasaren ia %21 elektrizitatea sortzeko bideratu zen, nagusiki ziklo konbinatuko zentraletan; Espainian, zenbateko hori %32ra heltzea aurreikusten da, hamarkada honen amaierako.

Ez dago zalantzarik ziklo konbinatuko zentralak modan daudela. Haietan, erregaia gasa da: petrolioa baino merkeagoa -momentuz-, eta ekonomikoki ikatza baino askoz lehiakorragoa ez izan arren, hark baino askoz gutxiago kutsatzen du.

Ziklo konbinatuek, errekontzian sortzen den gas beroa (energia termikoa) bi aldiz aprobetxatzen dute elektrizitatea sortzeko, efizientzia %45etik (zentral termoelektriko efizienteenetan) %70era handituz. 9. irudian ikus daitekeenez, ziklo konbinatuetan bi ziklo termiko kateatzen dira, bigarrena lehenengoan hondakin gertatzen den beroa beste ziklo

termiko batean berriro erabiliz, eta bero horren zati bat aprobetxatuz. Printzipioz, hainbat aukera teknologiko daude bi zikloak -edo gehiago- kateatzeko, baina normalean lehenengo zikloan gas turbina bat erabiltzen da elektrizitatea sortzeko; bigarren zikloan, sortutako gas beroa, ohizko bapora sistema batean erabiltzen da elektrizitate gehiago sortzeko. Zentral batzuetan, bigarren zikloan ere gas injekzio txiki bat gertatzen da, eta beste errekuntza prozesu bat eragiten da bigarren zikloaren hasieran, gasaren temperatura berriro igotzeko asmoarekin, prozesuak *post-firing* delako izena hartuz.



9. irudia. Ziklo konbinatuko zentral baten diagrama.

Alabaina, ziklo konbinatuko zentralak ez dira efizienteenak gas naturala erabiltzen. Sortutako energia termikoaren zati bat zuzenean bero moduan -eta ez guztia elektrizitatea sortzeko- erabiltzen denean, efizientzia termikoa are eta handiagoa da: hau da baterako sorkuntzako zentral askoren kasua. Hala ere, baterako sorkuntzak beroa zuzenean erabil

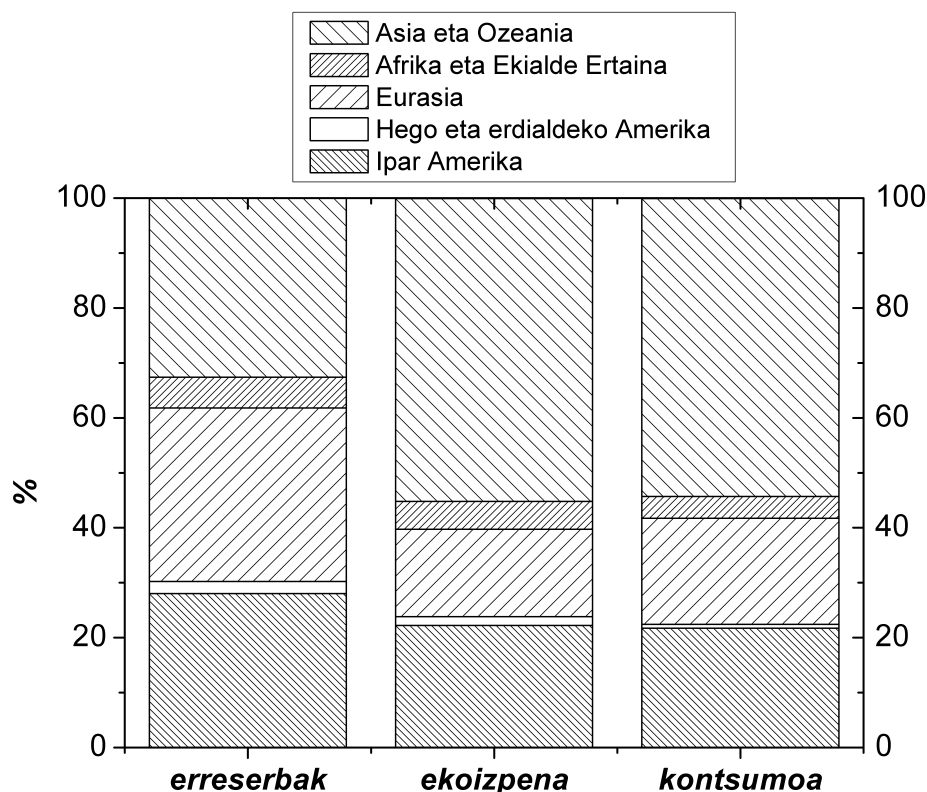
daitekeen kasuetan dauka zentzua bakarrik -prozesu industrial askotan, eta bizitzetan, alegia-; elektrizitatea, berriz, askoz malguagoa eta efizienteagoa da garraiatzeko eta hainbeste tresna eta prozesu eragiteko: kontura gaitzen elektrizitatea sare elektrikoaren bitartez ehunka kilometroz garraiatzen dela efizientzia neurritsu batekin -%80 baino gehiagorekin-, beroaren garraioan guztiz ezinezkoa gertatzen dena.

Ikatza

Ikatza industria-iraultzaren erregai nagusia izan zen. Geroago, petrolio eta gasaren erabilera etorri ziren, haren kontsumoa osatuz. Horregatik, askotan, ikatzaren erabilera XVIII eta XIX. mendeetako industria-gizartearekin lotzen dugu. Hala ere, ikatza ez da batere iraganeko kontua. 2003an⁴⁶, ikatza energia primarioaren %24,4 zen, hau da, osoaren ia laurden bat. Azken 30 urteotan ehuneko oso egonkor mantendu da, 1973an %24,8 baitzen. Energia primarioak nabarmen gora egin duenez, ikatzaren kontsumoak ere, urtez urte, gora egin du: 30 urtean, %72,5 handitu da.

Ikatzeko ekoizpenaren zati handiena (%60) elektrizitatea sortzeko erabiltzen da; alegia, ikatza da elektrizitate sortzeko erregai erabiliena: 2003an, energia elektriko osoaren %40,1 sortzen zen ikatzeko zentral termoelektrikoetan, haietako asko erraldoiak, 1 GW baino gehiagokoak. Asken 30 urteotan, ikatzaren konbustioan oinarritako elektrizitatearen ekoizpena %250 handitu da, etxebizitza-sektorean %65 murriztu egin den bitartean. Egun, bakarrik ikatzaren %16 erabiltzen da industrian, nagusiki zementu-industrian, baita burdin-eta altzairu-industrian, industria kimikoan, petrokimikoan eta papergintzan ere. Garraio sektorearen erabilera, ordea, 1973tik hona, %2,2tik %0,2ra pasatu da munduan. Ikatzeko tren-makina bai dela XIX. mendeko kontua, baina kontuz, hori bakarrik!

46 *KEY WORLD ENERGY STATISTICS 2005*, International Energy Agency.



10. irudia. Ikatzaren erreserbak, ekoizpena eta kontsumoa munduan, 2004an (Itur.: BP).

10. irudian ikatzaren munduko erreserbak, ekoizpena eta kontsumoa erakusten dira⁴⁷. Ikatz erreserbak itzelak dira. Munduan, ia bilioi bat tona ikatz geratzen da, balioespen geologikoen arabera. 10. irudian ikusten den bezala, erreserbak oso banatuta daude Ipar Amerika (%28), Asia (%32,7) eta Eurasia (%31,6) artean. Gainera, erreserba handienak biltzen dituzten Estatuak ere handienak dira, eremua edo biztanleria kontuan hartuta: AEB (%27,1), Errusia (%17,3), Txina (%12,6) eta India (%10,2). Egungo kontsumo erritmoa etorkizunean mantenduko balitz, datozen 164 urteetan ez ginateke ikatz barik geratuko. Eskualde batzuetan, gainera, egoera are eta hobea da: Ipar Amerikako erreserbak/ekoizpena ratioa 235 urtekoa da, eta Eurasiakoa (nagusiki Europa gehi

⁴⁷ BP Statistical Review of World Energy, 2005, 30-33 or.

Errusia) 242 urtekoa. Asian, ekoizpen eta kontsumo erritmoak intentsiboagoak dira, beste eskualdetan baino. Bereziki nabarmenak dira Txinaren erritmoak: munduan ekoizten den ikatzaren %36,2 hartzen du, eta ikatz osoaren %34,4 kontsumitzen du, kasu bietan AEBen erritmoen aurretik: %20,8 ekoizpenerako, eta %20,3 kontsumorako. Bi Estatu horien artean, ikatz osoaren erdia ekoiztu eta kontsumitzen dute, nagusiki energia elektrikoa sortzeko.

Ikatza, aro geologiko Karboniferoan sortu zen nagusiki, orain dela 300 milioi urteren bueltan, petrolioaren sortu zuten prozesuen antzekoen bitartez: materia bizidunen hondakinak -ikatzaren kasuan lurreko landareenak, zohikatza osatzen dutenak- biltzen ziren lur azalean; glaziar-zikloen eraginez, hondakinak lehenengo urrutako urarekin eta gero lurrarekin estaltzen joan ziren; sakonera egokian kokatuta -*ikatz leihoa* deiturikoa, eta petrolioarena baino sakonagoa dena-, presio eta temperatura altuek eraginda, denboran zehar, ezagutzen dugun ikatza bihurtu arte.

Hiru ikatz mota nagusi daude. Dentsitate energetiko altuena daukana (24 MJ/kg baino gehiago) ikatz bituminosoa da, non antrazita ere barruan sartzen den. Mota honetakoa da labe garaietan erabiltzen dena. Energia dentsitate baxuenekoa (18 MJ/kg baino gutxiagorekin) lignitoa da, edo ikatz marroia, eta ia dena eraldatze zentraletan erabiltzen da, elektrizitatea eta bero sortzeko. Bi mota horien artean, ikatz sub-bituminosoa kokatzen da. Ikatza energia dentsitatea petrolioarena baino baxuagoa da. Batez besteko balioak kontuan hartuta, likido preziatuaren dentsitatearen %70.

Ikuspuntu batzuetatik ikusita, ikatza egundoko erregaia da: munduko erreserbak itzelak dira, eta ez dirudi haren ekoizpenak tentsio geopolitikorik sor dezakeenik epe ertainean;

dentsitate energetikoa altua da; ekoizpenaren kostu ekonomikoa baxua; eta eraldatze prozesuak -energia elektrikoa sortzeko, eta abar- garatuak dira oso. Hala ere, ikatzak badauzka bere alde ilunak ere. Beste erregai fosilekin konparatuta -uranioaren kasua aparte utzita, noski-, CO₂-ko isurketak askoz handiagoak dira, energia kaloriko bera sortuta. Ikatza erretzearen eragina oso handia da berotegi efektuan eta azken mendeotan gertatutako klima aldaketan. Gainera, karbono isurketak ez dira ikatzaren erretzetan sortzen dituen bakarrak. Sufre eta merkurioko kontzentrazioak ere handiak izan daitezke mineralean. Ikatza solidoa denez, ez dago elementu horiek mineraletik ateratzerik. Hala izanda, elementu kutsatzaileak ikatza erretzen denean askatzen dira; bereziki larria da sufrearen isurketa, atmosferan ur baporearekin erreakzionatzen duenean azido sulfurikoa agertzen baita, euri azidoa sortuz. Beste alde batetik, ikatzaren ekoizpena ekonomikoa izan arren, lurpeko meategietan lan baldintzak gogor-gogorak dira; azaleko meategien kasuan, ordea, ingurumen-inpaktua oso altua da: isurketa azidoak eta lurpeko uretako kutsadura, eta abar.

Gainera, ezin dugu ahaztu ikatza solidoa dela. Horrek, haren garraioa nabarmen zailtzen du, eta horregatik ikatza ez da ia erabiltzen garraio sektorean. Hala ere, posible da metanoa eta diesel erregaiak sortzeko aukera -bigarren mundu gerran alemaniarrek egin zuten moduan-. Prozesuak, baina, energetiko eta ekonomikoki garestiak dira, eta bakarrik beste erregaien urritasuna nabarmena denean bultzatuko ei da haien ekoizpena. Edonola ere, aukera hor dago, eta ziur aski etorkizunean gero eta argiago.

Ikatza erabileraren erabilera oso ugalduta dagoenez elektrizitatearen sorkuntzan, ikatzeko zentral termoelektrikoak oso garatuak dira. Azken belaunaldiko handienetan, efizientzia %45 izan daiteke. Alabaina, badago hobekuntzarako tartea, ziklo konbinatuaren filosofia ere sar

baitaiteke ikatzaren errekontzan, IGCC (*Integrated Gassification-Combined Cycle*) delako zentralen bitartez. Mota horretako zentraletan, ikatzeko karbonoa gasifikatu egiten da, hidrogeno askea sortzearekin batera. Horrela, bi elementu nagusi ahalbidetzen dira: alde batetik, karbono monoxidoa (CO) eta hidrogenoa gasak direnez, ziklo konbentzionalak baino efizienteagoak diren (%15-20 gehiago, termino absolutuetan) ziklo konbinatuko teknologiak erabil daitezke; bestetik, IGCCko teknologiak CO₂-ko isurketen harrapaketa ahalbidetzen du, ikatzaren erabileraren eragin ez-desiratuena saihestuz. Hala ere, logikoa denez, hau guztia ordaindu behar da. Sorkuntza termoelektriko klasikoaren kostua 500 \$/kW da; IGCCko teknologiararena, berriz, 1.400 \$/kW baino garestiago da.

Energia berriztagarriak

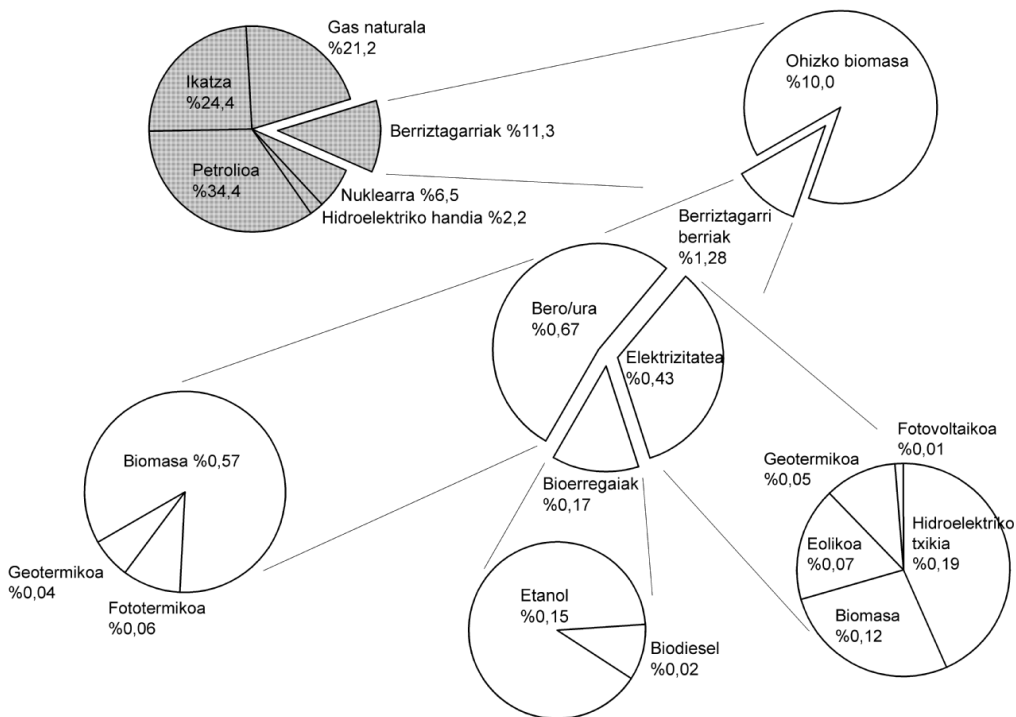
Egun, energia berriztagarrien papera munduan azaltzea konplexua da oso, eta kontraesanez betea. Energia primarioaren %11,3 da energia berriztagarritzat hartzen dena⁴⁸ (ikus 11. irudian eta 11. taulan), eta zati garrantzitsuena ohizko biomasari dagokio, energia primarioaren %10 inguru. Egurra da, hain zuzen, munduko bost pertsonetatik bik eskuragarri daukaten energia baliabide bakarra. Eta haren erabilera -adibidez garapen bideko herrialdeetako etxeetan egurra eta hondakinak erretzen direnean-, orokorrean, oso ez-eraginkorra da, eta osasun arazo larriak sortzeaz gain -errekuntzako gasek sortuak-, emakume eta neskatuen garapenerako traba bat ere bada, energiarekin lotutako betebeharrekin -erregaia biltzeko, adibidez- jardunaldiaren zati garrantzitsu bat eskatzen baitute⁴⁹. Aldi berean, baina, garapen eta hobekuntza teknologikoek aukera paregabeak eskaintzen dizkiote munduko gehiengo zabal horri bizi-kalitatea hobetzeko: egundoko aurrerapena da leku askotan egurrezko sukalde eraginkor eta modernoak eskuragarri

48 REN21 Renewable Energy Policy Network. 2005. “*Renewables 2005 Global Status Report*” Washington, DC: Worldwatch Institute; eta *KEY WORLD ENERGY STATISTICS 2005*, International Energy Agency.

49 FAO, *Sustainable Bioenergy: A Framework for Decision Makers*, 2007, 20-21 or.

izatea, edota sistema fotovoltaikoek sortutako energia elektrikoa erabili ahal izatea putzu batetik ura ateratzeko, edo gauean argindarra izateko.

Energia primarioa 2004an: 10.970 Mtpb



11. irudia. Energia berriztagarrien arteko banaketa, energia primarioaren barruan, 2004an.

Eta non biltzen dira berrikuntza teknologiko horiek? Bada, ohizkoa ez diren energia berriztagarrietan. *energia berriztagarri berriak* deiturikoak, energia primarioaren %1,3 baino ez dira: biomasaren erabilera eraginkorrak, energia eolikoa, fotovoltaikoa, geotermikoa, eta abar. Edonola ere, horrek ez du esan nahi *energia berriztagarri berrien* papera bazterrekoa denik: sektore energetikoan hazkunde handienetakoak jasotzen ari den azpi-sektorea da. 2004an, munduan, 30 mila milioi dolar inbertitu ziren energia berriztagarrien ekoizpen eta instalazioetan, energia konbentzionalaren sektorean inbertitu zenaren -150 mila milioi dolarren- bosten bat halakoa. Horrek pentsarazten du

etorkizunera begira energia berriztagarrien pisua handituko dela, munduan zehar gehitzen ari den sorkuntza ahalmena, hein handi batean, berriztagarria dela kontuan hartuta: aerosorgailuak, kolektore termikoak, biomasatik ateratako erregaiekin elikatutako baterako sorkuntza, eta abar. Egun, sorkuntza elektriko berriztagarriak, munduan, guztira 160 GW-eko potentzia batzen du, beste batzuekin konparatuz gero txiki geratzen dena, baina batere gutxiesgarria ez dena: munduko potentzia nuklear osoaren %40 baino gehiago.

Kasu askotan, energia berriztagarri berrien ekarpena nabarmentzekoa da, kontsumo energetiko osoaren zati txiki bat baino ez estali arren: panel fotovoltaiko ugari daude ipar Amerika, Europa eta Japoniako 400 mila teilatu baino gehiagotan; sorkuntza eolikoa garrantzitsua da herri garatu askotan; kolektore termikoek ur bero hornitzen dute munduko 40 milioi etxebizitza baino gehiagotan; Brasilen kontsumitutako gasolinaren %40 baino gehiago, biomasatik ateratako etanola da, eta bioerregaiek gasolina eta gasolioaren munduko kontsumoaren %3 estaltzen dute.

11. taulan, beste datu azpimarragarri bat agertzen da. Ohizko biomasaren -egurra- ekarpena alde batera utzita, energia berriztagarri berrien artean ere -beste garapen tekniko bat beharrezko dutenak-, biomasaren ekarpena garrantzitsua da: energia termikoaren %84 biomasatik aterata dago, bero eta ur bero sortzeko; elektrizitate berriztagarriaren %27k iturri bera dauka; bioerregaien kasuan, ehunekoa ehunera igotzen da. Orokorrean, energia berriztagarri berrien bi heren datoz biomasatik.

Euskal Herriko egoerari dagokionez, eskuragarri dauden datuen⁵⁰ arabera, energia

50 *Energia 2005. Euskadi Datu Energetikoak*, Energiaren Euskal Erakundea, 2006 (EAEko 2005eko datuak); "Balance de energía final Navarra 2005", in <<http://www.cfnavarra.es>> (NFEko 2005eko datuak); eta Ipar Euskal Herriko datuak han hemenka hartuta, nagusiki *Le Double Défi Climat & Energie: quels enjeux pour Pays Basque 2020? Synthèse bibliographique*, Conseil de Développement du Pays Basque, 2006ko ekaina.

berriztagarrien bidezko ekoizpen primarioa 750 ktpb inguru izan zen 2005an (Nafarroan horren %49 ikoiztu zen, EAEn %43 eta Iparraldean %8). Euskal Herrian ekoizpen berriztagarriak eskari primario osoaren %6,6 baino ez du estaltzen, eta biomasak hornitzen du zati handiena (%54), elektrizitate eolikoak (%30) eta hidroelektrikoak (%15) jarraituta. EAEn, biomasaren ekarpena da nagusi; Nafarroa Garaian energia eolikoak, eta Iparraldean hidroelektrikoak.

Energia berriztagarrien arteko banaketa, 2004an

Energia mota / erregai	Mtpb	Energia primarioaren ehunekoa (%)
<i>Energia primarioa</i>	<i>10.970</i>	<i>100</i>
Hidroelektriko handia	241	2,2
Berriztagarriak	1.240	11,3
Ohizko biomasa (egurra)	1.100	10,0
Berriztagarri berriak	140	1,28
Bero / Ur beroa	73,8	0,67
Biomasatik	62,1	0,57
Fototermikoa	6,9	0,063
Geotermikoa	4,8	0,044
Elektrizitatea	47,5	0,43
Hidroelektriko txikia	20,6	0,19
Biomasatik	12,9	0,12
Eolikoak	8,2	0,075
Geotermikoa	5,2	0,047
Fotovoltaikoa	0,6	0,0055
Bioerregaiak	18,6	0,17
Etanol	16,7	0,15
Biodiesel	1,9	0,017

11. taula. Energia berriztagarrien arteko banaketa, energia primarioaren barruan, 2004an (Itur.: IEA eta Worldwatch Institute).

Gobernuek jakin, badakite etorkizunean energia berriztagarriak funtsezkoak izango direla energiaren eskuragarritasuna ziurtatzeko. Horregatik, hainbat Estatu eta eskualdetan,

governuek energia berriztagarrien erabilera eta instalazioak sustatzeko politikak ezarri dituzte, bereziki herrialde garatuetan: sare elektrikoan injeztatutako elektrizitate berriztagarriarentzako pizgarriak, zerga-salbuespenak, inbertsioa pizteko kostu baxuko kredituak, diru-laguntza zuzenak, eta abar. Egun, azpi-sektore zehatz batzuk izan ezik, energia berriztagarriak politika horien guztien mendean daude; hala ere, alde batetik hobekuntza teknikoak direla eta, eta erregai fosilen salneurrien gorakadak bestetik, berriztagarriak gero eta lehiakorragoak dira merkatuetan. Multinazional askok jakitun dira horretaz, eta aspaldidanik posizioak hartu dituzte sektore energetikoan: General Electric eta Siemens liderrak dira sektore eolikoan, eta Shell, British Petroleum, Sanyo eta Sharp, ekoizle nagusienetarikoak dira sektore fotovoltaikoan. Gogora dezagun, adibide moduan, Txinak, 2010erako, sorkuntza elektrikoaren ahaltsunaren ehuneko berriztagarriko helburua %10ean jarri duela, urte gutxitan 23 GW-eko potentzia gehikuntza ekarri beharko lukeena. Negozio borobilak egiteko aukerak, askoren begietara, paregabeak dira. Lanerako indarrarentzat ere, energia berriztagarriak garrantzi handikoak dira. 2004an, sektorean ziharduten lanpostu zuzenak 1,7 milioi baino gehiagotan zeuden balioetsita. Sektorean lanpostu berriak sortzeko ahalmena ere, handia da, hazkunde tasak ikusita.

Dena dela, non dago benetako gakoa? Fluxu berriztagarrien erabilera zabalduena -ohizko biomasarena-, eta haren hobekuntzarako tarte handienak, garapen bideko herrialdeetan gertatzen dira; energia berriztagarri berrien garapena, berriz, nagusiki herrialde garatuak ari dira jasotzen. Energia berriztagarriek munduko 1.600 laguni elektrizitatea eskuratzeko aukera paregabeak eskainiko balizkiete ere -adibidez Afrika osoan zehar-, nola bideratu beharreko inbertsioak? Azken batean, berriztagarrien gaineko eztabaida ezin dugu gizarte eredu eta justizia sozialeko gaien inguruko eztabaidatik banandu. Energia berriztagarriak funtsezkoak izango dira iraunkortasunean oinarritutako zibilizazio bat garatze aldera, baita

munduko txiro eta aberatsen arteko arraila murrizteko ere. Baina ez dira mirarizkoak. Fluxu berriztagarrien ustiapenak sortuko dituen aukera eta arriskuez jabetzeko, guztiz beharrezkoa gertatzen da energia berriztagarrien ahaltasun teknikoei begirada zorrotz bat eskaintzea, hain zuzen bosgarren kapituluan egingo duguna.

3. ETORKIZUNA: INSTITUZIOEN HELBURUAK

Etorkizuna ez dago aurrez idatzita. Hori, bereziki baliozkoa da energiaz ari bagara. Sistema energetikoaren ildo nagusiak faktore askoren mendean daude: Natura eta gizateriaren arteko orekaren bilakaera -non klima aldaketa, lehengai askoren agorpena, nekazaritzaren produktibitatearen eboluzioa eta antzekoak sartzen diren-; garapen teknologikoa; etorkizun hurbilean egingo diren inbertsio ekonomikoak; energia eskaeraren eta egoera ekonomikoaren bilakaera; edota Estatuetakoa administrazioek ezar ditzaketen politikak. Kapitulu honetan, azken puntu horri eskainiko diogu arreta berezia, zeren, hein batean, administrazioek ezartzen dituzten politiken bitartez idazten baita gure etorkizun energetikoa.

Munduan zehar, administrazioek oso kontuan hartzen dute energiarekin lotutako gaiak. Aldian-aldian, administrazio publiko eta instituzio pribatu askok energia arloko aldagai esanguratsuen bilakaeraren aurreikuspenak plazaratzen dituzte -energia kontsumoa, baliabideen erreserbak, eta abar-. Txosten horiek kontuan hartuta, administrazioek helburuak jartzen dituzte, eta helburu horiek lortzeko politikak ezarri. Herri baten energia-sistema guztiz lotuta dago haren sistema produktiboarekin; modu berean, populazioaren ongizate maila, hein handi batean, baliabide energetikoen eskuragarritasun egokien mende egongo da. Sistema energetikoan arazoak azaltzen hasten badira, buruhaustek bizkor aldatzen dira gizartearen beste arlo askotara, bereziki oinarri produktiboa daukatenetara. Beraz, baliabide energetikoen eskuragarritasun egokia eta, areago, buruaskitasun energetikoa, desiratuak dira gure inguruko administrazio guztiek ezarritako politiketan.

Adibide moduan, munduan, 2005ean, 38 Estatu edota eskualdeko administraziok zeuzkaten ezarrita energia kontsumoa energia berriztagarrien ekoizpenarekin estaltzeko kuota zehatzak⁵¹ (*Renewable Portfolio Standard* deiturikoa, RPS). Estatu horien artean, Europako Batasuna; edo Txina, zeinak, 2010erako, kontsumituko den elektrizitatearen hamarren bat fluxu berriztagarrietatik eratorrikoa izan dadila nahi duen.

Politika horiek aztertzeak, aukera ezin hobea eskaintzen digu etorkizun energetikoak nondik joko lukeen irudikatzeko. Hurrengo orrialdeetan, Europako Batasuneko helburu energetiko eta ezarritako politikak aztertuko ditugu, haiek baldintzatzen baitituzte, guztiz, Euskal Herriko administrazioek ezarritako helburu eta politikak.

Etorkizuna zabalik dago, eta ezin jakin oraindik zein neurritan beteko diren helburu horiek. Hala ere, zalantza handirik gabe, eta gutxienez epe motzean, energia egoera ez da haietan markatutako joeretatik asko aldentuko, eta gerta litekeen etorkizunaren ikuspegi interesgarria ematen digute, administrazioek ikusten dituzten arrisku eta dauzkaten beldurrekin batera.

Europako Batasuneko helburuak

Energia politikaren arloan, Europako Batasunaren lehentasun nagusia zera da: planetako leku zehatz batzuetatik eratorritako geroz eta handiagoak diren energia inportazioekiko mendekotasunari aurre egitea, klima aldaketari aurka egitearekin batera. Helburuok, 2000an Europako Batzordeak plazaratutako *Hornikuntza energetikoari buruzko Liburu Berdean* aipatzen ziren⁵². Han, Europako agintariek dei egin zuten datozen 20 edo 30

51 REN21 Renewable Energy Policy Network. 2005. “*Renewables 2005 Global Status Report*” Washington, DC: Worldwatch Institute, 19-28 or.

52 *Liburu Berdea – European energia-horniketaren segurtasunerako estrategia lortzeko bidean*, COM (2000) 769.

urtean Europako Batasunean gerta litezkeen hornikuntza energetikoaren ahultasun estruktural, hauskortasun sozial eta geopolitiko, eta ingurunearekiko arriskuez jabetzeko⁵³. Europako Batzordeak erabilitako hitzak ez dira batere txantxetan ibiltzekoak, nahiko gogorrak baizik: ahultasun estruktural, hauskortasun sozial...

Abagune honetan, fluxu berriztagarrietako energiek zeregin funtsezkoa daukate aipatutako lehentasunei irtenbideak eskaintzeko orduan. Erregai fosilen balizko ordezkioak izan daitezkeen heinean, energia berriztagarriek lagun dezakete klima aldaketari aurre egiten eta ingurumenaren kalitatea hobetzen. Aldi berean, energia berriztagarrien erabilera bultzatzeak energia iturrien dibertsifikatzea ekarriko luke; eta ezin ahaztu gizarte kohesionatuago baten alde egingo luketen lana, zeren, energia berriztagarrien ugaltzeak lanpostu eta enpresa berri asko sortzea ekarriko bailukete, haietariko gehienak, gainera, landa eskualdeetan.

Europako Batasunean, energia berriztagarrien aldeko politikak efizientzia energetikoaren hobekuntzen aldekoekin uztartzen dira. Egun, eta aurrerago ikusiko dugunez, energia berriztagarriak oraindik garesti samar dira, eta horregatik, energia aurrezteak –hau da, gauza bera energia gutxiagorekin egitea, alegia, modu efizienteagoz– da era ekonomikoena eta eraginkorrena arazo energetikoei aurka egiteko. Zentzu horretan, Europako Batasunak arteztarau eta araudi andana ezarri du azken urteotan. 2005ean *Efizientzia energetikoari buruzko Liburu Berdea*⁵⁴ plazaratu zuen, non eta ohartzen duen 2020ra arte efizientiaren hobekuntzarekin lotutako politika eta neurri egokiak hartuz gero,

53 Azken hori, bereziki Kiotoko hitzarmenean adostutako konpromisoak ezbaian jarri nahi ez badira. Jakina denez, 1998an, Kiotoko Protokoloaren berrespen-prozesua hasi zen. Horren arabera, herri industrializatuek konpromisoa hartu zuten 2008 eta 2012 urteen artean negutegi-efektuaren gasen igorpena 1990.ekoa baino %5 gutxiago izan dadin.

54 *Nola egin gehiago energia gutxiagorekin. Efizientzia energetikoari buruzko Liburu Berdea*, Europako Batzordea, 2005eko ekaina.

urte horretan aurreztutako energia 360 Mtpb izan litekeela -2005ean Europako Batasunean kontsumitutako energia primarioaren bosten bat, hain zuzen-. Aldi berean, energiaren erabilera hobetzeko neurri anitz jarri dira martxan: eraikuntzen erabilera energetikoa hobetzea; baterako sorkuntzaren bultzatzea, energia termikoa hobeto erabiltzeko; argi fluoreszenteen efizientziaren arautzea; etxeko labe elektriko, aire egokituaren tresna, izozkailu, hozkailu eta hainbeste etxetresna elektrikoen etiketatzearen arautzea; ekipamendu informatikoaren etiketatzearen arautzea, eta abar⁵⁵. Era berean, Europako Batzordeak proposamen bat egin zuen 2003an, zeinaren bitartez Estatu kide guztiak behartuta egongo baitaude, urtero, azkeneko kontsumoa %1ean murriztera⁵⁶.

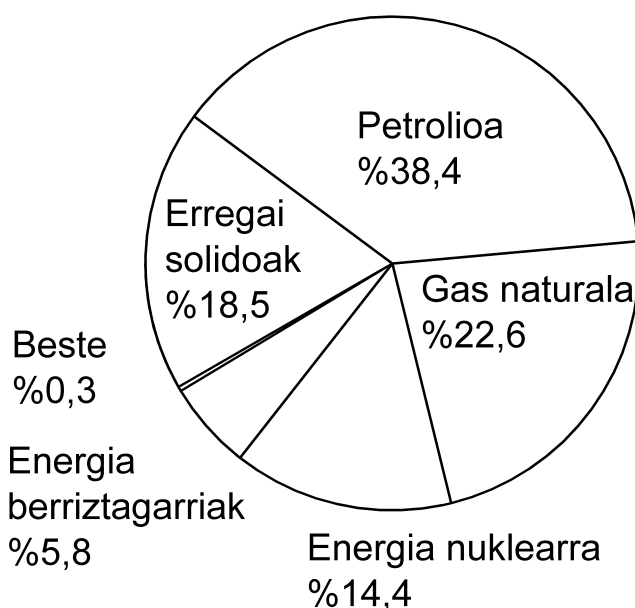
Hala eta guztiz ere, efizientzia energetikoaren arloan egin daitekeena handia izan arren, mugak ere egon, badaude. Lehenengo hobekuntzak lortutakoan, emaitza nabarmenak eskuratzeko kostuak gero eta handiagoak dira. Energia berriztagarrien ugaltzeak, ordea, eskala-ekonomien bitartez, instalazio eta atzemandako energiaren kostu ekonomikoen murrizketak dakartza, nahiz eta epe luzeagoak horretarako behar. Beraz, efizientzia energetikoaren hobekuntza eta energia berriztagarrien bultzatzea elkarrekin bateragarri eta osagarri moduan ikusi behar dira, eta horrela jokatu du Europako Batasunak orain arte.

55 Directiva 2002/91/CE relativa a la eficiencia energética de los edificios; Directiva 2004/8/CE, relativa al fomento de la cogeneración sobre la base de la demanda de calor útil en el mercado interior de la energía; Directiva 2003/96/CE por la que se reestructura el régimen comunitario de imposición de los productos energéticos y de la electricidad; Directiva 2000/55/CE, relativa a los requisitos de eficiencia energética de los balastos de lámparas fluorescentes; Directiva 2002/40/CE de la Comisión, relativa al etiquetado energético de los hornos eléctricos de uso doméstico; Directiva 2002/31/CE de la Comisión, relativa al etiquetado energético de los acondicionadores de aire de uso doméstico; Directiva 2003/66/CE de la Comisión, relativa al etiquetado energético de frigoríficos, congeladores y aparatos combinados electrodomésticos; Reglamento (CE) n° 2422/2001 relativo a un programa comunitario de etiquetado de la eficiencia energética para los equipos ofimáticos; COM (2003)453 sobre requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos que utilizan energía.

56 COM (2003)739 sobre la eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos.

Energia berriztagarriei dagokienez, Europako Batasunaren lehenengo mugarrria 1997an ezarri zen, *Energia berriztagarrien Liburu Zuria* plazaratu zuenean⁵⁷. Hartan, 2010erako, energia berriztagarrien kuota energia primarioan gutxienez %12koa izateko helburua ezarri zen. 1997an, EB-15ean, energia berriztagarrien kuota %5,4 zen; 2000rako, penetrazio-kuota %5,8raino igo zen, eta urte bat geroago, 2001ean, %6 zen. Erreferentzia moduan, 12. irudian 2000ko energia primarioaren iturrien gama erakusten da, Europako Batasunean.

2000. urteko energia primarioaren gama, Europako Batasunean



12. irudia. Energia primarioaren iturrien gama, Europako Batasunean, 2000 urtean.

Hala eta guztiz ere, dagoeneko, Europako Batzordeak onartzen du ezinezkoa izango dela helburu horiek betetzea. Haren aburuz, oztopo nagusia zera da: Estatuak konpromiso

⁵⁷ *ENERGÍA PARA EL FUTURO: FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLES. Libro Blanco para una Estrategia y un Plan de Acción Comunitarios*, COM/97/0599, 1997.

maila oso desberdinak erakutsi dituztela, energia berriztagarriak garatze aldera.

Egun martxan dauden neurri politikoak kontuan hartuta, Europako Batzordeak, egun, EB-15ean 2010ean izango den kuota %10ean balioesten du. %12ko helburuarekiko defizita, hozte- eta berotze-sistemetako merkatuan energia berriztagarrien penetrazio espero zen baino murrizagoari egozten zaio, arlo horretan etorkizunerako neurri berriak proposatuz.

Europako Batasuneko energia politikan, beste puntu garrantzitsu bat sorkuntza elektriko berriztagarriarena da. 2001/77/CE *Elektrizitatearen barne-merkatuan energia berriztagarrien iturriak erabiliz sortutako elektrizitatea sustatzeari buruzko Arztejarauak*⁵⁸, 2001eko irailean Europako Parlamentuak eta Kontseiluak ezarritakoak, jatorri berriztagarrien elektrizitatearen kuota helburuak ezartzen ditu, Estatu kide bakoitzeko, energia berriztagarriek sortutako elektrizitatearen areagotze garrantzitsua ahalbidetzeko - *green electricity* delakoa-. 2010. urterako, EB-15eko kuotak %22raino igo beharko du. 1997an, Europako Batasunean, energia elektrikoaren ia %14 zen energia berriztagarriek sortua. Ia gehiena, %90, zentral hidroelektriko handietan sortzen zen.

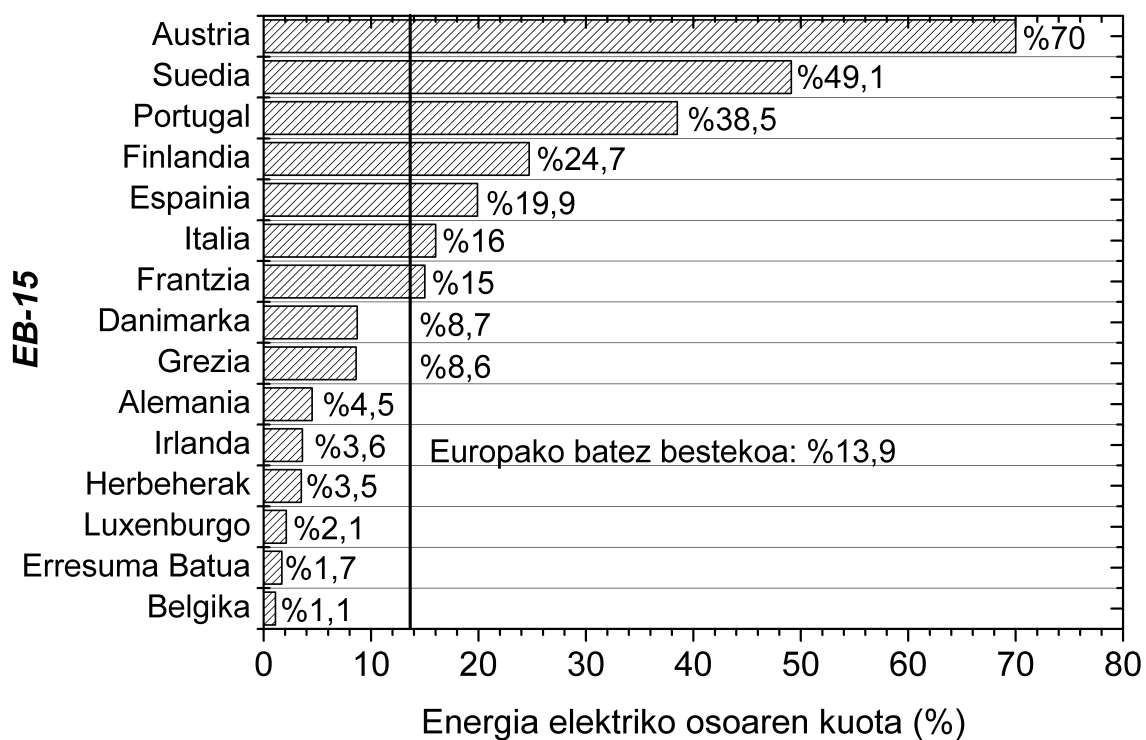
Elektrizitate berdearen kuota %22raino igotzeko, 2001/77/CE Arztejarauak jatorri berriztagarrien elektrizitatea garatzeko beharrezkoak diren araudi tekniko eta administratibo funtsezkoak bultzatzen ditu: Estatuko programen harmonizazioa eta prozedura administratiboen sinplifikazioa bultzatu; energia elektrikoaren distribuzio-sareetara sartzeko eta banatzeko eskubidea bermatu –Frantzian, adibidez, martxan jartzeko arazo handiak izan dituen neurria-; eta energia elektriko berdearen jatorria ziurtatzeko, jatorri-berme sistema bat ezarri, nagusiki –gero, sektore elektrikoaren

58 2001/77/CE Arztejaraua, *Elektrizitatearen barne-merkatuan energia berriztagarrien iturriak erabiliz sortutako elektrizitatea sustatzeari buruzkoa*, 2001eko irailean.

konpainiek publizitate moduan erabiltzen dutena, ingurumenarekiko begirunearekin kezkatuta dauden bezeroen arreta bereganatzeko-.

2010era begira ezarritako kuotak desberdinak dira, Estatuaren artean. Espainiakoa, adibidez, %29,4 da, 1997an %19,9 zelarik eta 2002an %12,6. Frantzia, aldiz, helburua %21 da; elektrizitate berdearen kuota 1997an %15 zen, eta 2002an %14,4. Ikusten denez, alde nabarmenak daude Estatuaren artean, bai helburuetan, baita bilakaeran ere.

13. irudian, EB-15eko kideen kuotak erakusten dira, 1997an.



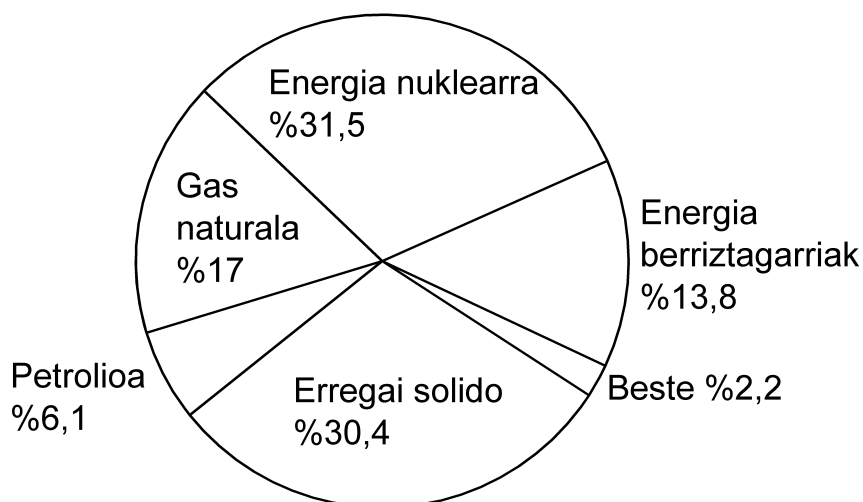
13. irudia. EB-15eko kideen elektrizitate berdearen kuotak, 1997 urtean.

Hartu beharreko neurriak betez gero, EB-15eko kideek ez lukete arazo handirik aurkitu beharko %22ko kuota horretara hurbiltzeko. Europako Batasuna 25 kideraino zabaldu

zenean, kide berriak 2001/77/CE Arteztarauak behartuta geratu ziren. Estatu berri bakoitzeko, Atxikitze Itunak ezarri zuen elektrizitate berdearen kuota helburua. Guztiak batera kontuan hartuta, 2010erako, EB-25eko elektrizitate berdearen kuotak %21 izan beharko luke.

Hala ere, 2000 urtean, 14. irudian erakusten den bezala, EB-25ean sortutako elektrizitatearen %13,9 baino ez zen jatorri berriztagarrikoa.

EB-25ean sortutako energia elektrikoaren jatorria, 2000. urtean



14. irudia. EB-25eko elektrizitatearen jatorria, 2000 urtean.

Printzipioz helburuak guztiz egingarriak izan arren, EBko kideek aurkeztutako txostenak aintzat hartuz gero, oso zaila dirudi %22ko helburura heltzea. Txostenen arabera, egungo politika eta neurriak beren horretan jarraituz gero, %18 eta %19 arteko kuota lortuko

litzateke 2010ean, hiru edo lau puntu jazarritako helburuaren azpitik⁵⁹. Arrazoi nagusia helburuak ez betetzeko, momentuz, biomasatik ateratako elektrizitatearen sorkuntzak aurreikusitako kuotak ez betetzeari egozten zaio.

Larriagoa dena, elektrizitate berdearen kuota %18-19raino baino ez bada heltzen 2010ean, orduan energia berriztagarrien kuotak ez du energia primarioaren %9 gaindituko, urte berean: markatutako helburua baino hiru puntu gutxiago.

Europako Batasuneko helburuak ez dira mugatzen jatorri berriztagarrietako elektrizitatearen sorkuntzara, bakarrik. Garraio sektorearen pisua hain handia izanik, Europako Batasunak, 2003an, 2003/30/CE Arteztarauaren bitartez⁶⁰, garraioan erabilitako gasolio eta gasolinaren kontsumoan bioerregaien kuotak ezartzeari ekin zion. Gogora dezagun:

Bioerregaiak dira, egun, garraiorako erregai moduan, petrolioaren ordezkatzeko baliabide tekniko bakarrak⁶¹.

Bioerregaiak petrolioaren ordezkatzeko hain garrantzitsuak izanik, Europako Batasunak %5,75eko erabilera kuota bat ezarri zuen, 2010erako -2002an, EB-15ean, kuota hori %0,6 zen-. Alabaina, honetan ere, ez dirudi helburuak beteko direnik. Arteztarauak, 2005erako ere, %2ko erdiko helburu bat jarri zuen; hala ere, orain badakigu urte horretan

59 *Communication from the Commission to the Council and the European Parliament. The share of renewable energy in the EU*, COM(2004) 366, Brusela, 13. or.

60 *Directiva 2003/30/CE relativa al fomento del uso de biocarburantes u otros combustibles renovables en el transporte*.

61 *Communication from the Commission to the Council and the European Parliament. The share of renewable energy in the EU*, COM(2004) 366, Brusela, 29. or.

bioerregaien erabileraren kuota %1,4 baino ez zela⁶². Borondate politikoak sakonki indartzen ez badira, %5,75eko helburuak eskuratzea ere oso zaila dirudi.

Dena den, mundu osoko ikuspegi batetik analizatuta, Europako Batasuna aitzindaria izan da energia berriztagarriak bultzatzen, eta hori ere ezin dugu ahaztu. 1990 eta 2000 urteen artean, Mendebaldeko Europan kontsumitzen zen energia, mundukoaren %16 zen. Denboraldi berean, ordea, Europako sistema energetikoaren esku-hartzea ehuneko hori baino altuagoa zen energia berriztagarrien hazkundera mundu mailan, arlo gehienetan: biomasatik sortutako elektrizitatearen hazkundera, munduan gertatutakoaren %31 zen; Europan ere eman zen zentral hidroelektriko txikitan sortutako elektrizitatearen hazkundera %48; eta energia eolikoaren hazkundera %79. Esan dugunez, urte horietan Europako Batasunak, eta haren kideek, politika- finantza- eta administrazio-neurri garrantzitsuak jarri zituzten martxan, helburu zehatz batzuekin batera, energia berriztagarrien bultzada gerta zedin. Europan sektorean diharduten enpresak ere, aitzindariak dira teknologiaren garapenean, eta bereziki irtenbide eta instalazio berriztagarriak errealitate produktiboan behin betiko txertatze teknikoan, ikerketa laborategietatik kanpo: Alemanian, Danimarkan eta Espainian instalatutako aerosorgailuen kasua da, Alemanian sortutako biodieselarena, edota Europa osoan zehar hainbeste lekutan biomasak elikatuta baterako sorkuntzaren bitartez bero eta elektrizitate sortzen dituzten zentralena ere.

Non daude, orduan, mugak? Argi dago munduan, energia berriztagarri berrien erabilera masiboa sustatzeko gizarte bat baldin badago, hori, Europa garatuarena dela. Batasuneko helburuek urrunegi garamatzate? Agindutako helburuak, energia berriztagarrien

62 *Communication from the Commission. An EU Strategy for Biofuels*, COM(2006) 34, Brusela, 8. or.

potentzialitate osoaren zenbateraino heltzen dira? Europako Batzordeak berak egindako txostenei jarraituz gero⁶³, ikus dezakegu Europako gaitasun berriztagarria helburuen haratago doala. Adibide moduan, ikus ditzagun Batzordeak Frantzia eta Espainia Estatuei onartutako potentzialitateak, epe ertainean (12. taula):

Espainiako eta Frantziako potentzialtasuna, energia berriztagarrietan			
		Espainia	Frantzia
Elektrizitatea	Ekoizpen berriztagarria 2002an	29,63 TWh	65 TWh
	Potentzialitatea	200 Twh/urte	272 Twh/urte
	Elektrizitatearen kontsumo osoa, 2003an	239,46 TWh	469,2 TWh
	2003ko kontsumoaren ehunekoa	%84	%58
Bero	Ekoizpena 2002an	3,43 Mtpb	9,8 Mtpb
	Bero sortzeko potentzialitatea	12,1 Mtpb/urte	27,7 Mtpb/urte
	2003ko energia primarioaren ehunekoa	%8,9	%10,2
Bioerregaiak	Ekoizpena 2002an	0,12 Mtpb	0,47 Mtpb
	Potentzialitatea	5,7 Mtpb/urte	11 Mtpb/urte
	2003ko energia primarioaren ehunekoa	%4,2	%4,1

12. taula. Espainia eta Frantzia Estatuei Europako Batzordeak onartutako potentzialtasun berriztagarriak (Itur.: Europako Batzordea⁶⁴ eta IEA⁶⁵).

Aurreko taulan ikusten denez, printzipioz, berriztagarrien potentzialtasuna ez dago batere garatuta gure inguruko Estatuetan. Bioerregaien kasua Espainian adierazgarria da. Europako Batzordearen arabera, han 2003. urtean ekoiztutako bioerregaiak (0,12 Mtpb) potentzialtasun osoaren %2,1 baino ez zen. Epe ertainean -eman dezagun 2015-20 urterako- potentzial osoa garatuko balitz, 2004 urtean garraio sektorean kontsumitutako erregaien (35,7 Mtpb) %16 hornituko litzateke erregai berriztagarriekin. Ikusten denez,

63 *Communication Staff Working Document. The share of renewable energy in the EU. Country Profiles. Overview of Renewable Energy Sources in the Enlarged European Union*, SEC(2004) 547, Brusela.

64 *Communication from the Commission to the Council and the European Parliament. The share of renewable energy in the EU. Country Profiles*, COM(2004) 366, Brusela, 33-38 eta 96-100 or.

65 <http://www.iea.org/Textbase/stats/oecdindicators.asp?oecd=Spain&SubmitB=Submit&COUNTRY_LONG_NAME=Spain> , <http://www.iea.org/Textbase/stats/oecdindicators.asp?oecd=France&SubmitB=Submit&COUNTRY_LONG_NAME=France>

gaitasuna 2003/30/CE Arteztarauak agindutako %5,75eko kuotatik haratago kokatuko litzateke.

Potentzialtasuna Administrazioak agindutako helburuetatik haratago badoa, non daude, orduan, energia berriztagarrien garapenerako mugak? Europako Batzordeak berak laburbiltzen ditu, modu ezin hobean, energia berriztagarrien mugak eta arazoak, 5. eta 6. kapituluetan sakonago ikusiko ditugunak:

[...] energia berriztagarriek paper garrantzitsu bat bete behar arren, ezin ditugu zailtasun batzuk ahaztu. Lehenengo eta behin, muga tekniko eta praktikoak daude haien ustiapen errentagarriko. Eguzki-energiaren eta energia eolikoaren eraginean, geografia-aldaketa nabarmenak gertatzen dira. Biomasaren ekoizpenak lurraren beste erabilerekin, adibidez nekazaritzarekin, lehiatu behar du. Bakarrik bailara kopuru mugatu bat erabili ahal da energia hidroelektrikoa ekoizteko.[...] Bigarrenez, energia berriztagarriek energia konbentzionalak behar dituzte, euskarri moduan. Energia eolikoa eta eguzki-energia aldizkakoak eta aurreikusezinak dira. Faktore klimatikoek energia elektrikoaren eta biomasaren gorabehera nabarmenak sor ditzakete, urte batetik bestera. Egoera honetan, energia biltzeko egungo sistemek hartu ahal duten energia berriztagarrien kuota eskasa da. Ohizko energien erreserbako gainahalten bat gertatzeko arriskua dago, kostu gehigarriak ekarriko lituzkeena. Energia berriztagarrien garapenak, egungo sare energetikoan inbertsio berriak egiteko beharra ere sor lezake, adibidez energia elektrikoaren sareetan. Energia politikak hainbat energia moten garapena behar du: ez baitugu ahaztu behar dibertsifikazio beharrari buruzko ikasbidea. Azkenik, fidagarriagoa eta dibertsifikatuagoa izango den energia-sistema baten garapenak, non eta energia

berriztagarrien erabilera gero eta handiagoa izango den, oro har, politika garestiagoa izaten jarraitzen du. Egia izanik energia hidroelektrikoa eta egurraren ohizko erabilerak lehiakorrak direla energia mota klasikoekin konparatuta, eta energia eolikoa errentagarritasun-atarira hurbiltzen ari dela haizearen abiadura altua den lurreko kokapen batzuetan. Dena den, hainbat energia berriztagarriren kostuek, biomasatik sortutako elektrizitatearena eta bioerregaiena kasu, haien lehiakide konbentzionalena baino bi aldiz garestiago -edo gehiago- izaten jarraitzen dute, banaka konparatuta, eta energia-sistema osoaren kostuaren eragina kontuan hartu barik. Beste batzuk, energia fotovoltaikoa esate baterako, are eta garestiagoak dira⁶⁶.

Aurrean zabaltzen zaigun agertokia ez da batere lasai egoteko modukoa. Nahiko argi dirudi energia ekoizpenaren eta kontsumoaren egiturak ez direla iraunkorrak. Administrazioak helburu zehatzak jarri ditu, horri buelta emateko: energia aurreztu alde batetik, eta energia iturriak dibertsifikatu, bestetik, berriztagarriak bultzatuz. Hala ere, berriztagarriekiko helburuak ez dira beteko, potentzialtasun osoaren zati mugatu bat izan arren. Potentzialtasun horrek, gainera, epe ertainean guztiz garatuko balitz, energia konbentzionalen ordezkapen osorako ez du ematen –Batzordeari kasu eginez gero-.

Egoera kritikoa da, benetan. Egoeraren seriotasuna, nahiko argi geratzen da islatuta Batzordeak berriki plazaratutako dokumentu batean: *Liburu Berdea - Energia iraunkor, lehiakor eta seguruaren aldeko Europako estrategia*. Europako Batzordearen aburuz, Europa, aro berri batean sartu da, zeinaren ezaugarri nagusiak honako hauek diren⁶⁷:

66 *Communication from the Commission to the Council and the European Parliament. The share of renewable energy in the EU*, COM(2004) 366, Brusela, 9-10 or.

67 *Liburu Berdea - Energia iraunkor, lehiakor eta seguruaren aldeko Europako estrategia*. COM(2006) 105, Brusela, 3-4 or.

- Inbertsio beharrak izugarriak izango dira datozen 20 urteotan: bilioi bat € -EB-25eko Barne Produktu Gordina, 2003an, 8,6 bilioi 2000 US\$-ekoa zen-.
- Inportazioen mendekotasuna gora doa. Egun %50 da, eta 20-30 urte barru %70 izango da; gainera, jatorria herri gutxitan dago kontzentratuta.
- Energia eskaera mundu mailan ere, gora doa, petrolio, gas eta elektrizitatearen prezioekin batera.
- Klima berotzen ari da. Munduko eskualde guztiek jasoko dituzte horren eragina, bai ekonomian, baita ekosistemetan ere.
- Europako energia merkatuak ez dira behar bezain lehiakorrak.

Zoritxarrez, azken puntu horrek ere, merkatuen lehiakortasunarenak alegia, erakusten digu irtenbiderako Batzordearen errezetak: dokumentu berean, “Gaserako eta elektrizitaterako benetako lehiakorra den merkatu bateratu batek prezio baxuagoak sortuko lituzke, hornikuntzaren segurtasuna hobetuko luke eta lehiakortasuna bultzatuko luke” (6. or.); “Hornikuntzaren segurtasuna bermatuko duen energia barne-merkatu bat: Estatu kideen arteko elkartasuna” (8-9 or.); “Merkatu liberalizatu eta lehiakorrek hornikuntzaren segurtasunari laguntzen diote, sektorearen enpresei inbertsio-seinale egokiak igorritz. Lehia ondo funtzionatzeko, baina, merkatuak gardena eta aurreikusteko modukoa izan behar du” (8. or.). Eta abar. Neurri politikoak guztiz beharrezkoak izango direla jakin arren, ideologia neoliberalaren eragina nabarmena da, zoritxarrez, Europako Batasunaren agintarien diskurtso osoan: *merkatuak, ondo funtzionatuz gero, arazoak konponduko ditu.*

EBko energia politikaren bilakaeran, azken mugarrria 2007ko urtarrilean jaso genuen. Orduan, Europako Batzordeak ekimen multzo bat proposatu zuen klima aldaketari aurre

egiteko, eta Europarako energia politika berri bat sortzeko: *Energy for a Changing World*⁶⁸. Haren helburua, anbizio handikoa da benetan: mundu osoan lidergoa hartzea, ikatz baxuko ekonomia bateranzko trantsizioan. Horrela, Batzordeak honako ekimen hauek proposatzen ditu: EBko CO₂-ko isurketak 2020an gutxienez %20 murriztea -mundu mailan adostasun zabalagoa badago, %30 izan dadila ere onartuz-; energia efizientzia urte berean %20 hobetzea; berriztagarrien ekarpena kontsumo primarioan %20 izatea; eta bioerregaien kontsumoa garraio sektorean %10 izatea. Benetan deigarria da horrelako helburuak markatzea, orain dela hamar urte 2010erako helburuak ez direla beteko dakigunean. Honetan bai lortuko dugula?

Espainiako administrazioaren helburuak

Espainiako administrazioen helburuak Europako Batasunekoekin lerrotatzen dira. Espainiako Gobernuak *Plan de energías renovables*⁶⁹ delakoa ezarri zuen 2005eko abuztuan, aurrean ezarritako plana berraztertuz, eta han jarritako helburuak gora eramanez. 13. taulan, Espainiako planak jarritako helburuak nahiz Plan beraren barruan bai Euskal Autonomia Erkidegorako bai Nafarroako Foru Erkidegorako markatutakoak erakusten dira.

Azken bost urteotan energia berriztagarriekiko begirune -edo haien behar- handiagoak goranzko helburuen berraztertzea bultzatu du. 2006ko helburuak 1999koekin alderatuz gero, ikus daiteke potentzia eolikoa eta termoelektrikoa bikoiztu baino gehiago egin direla, fotovoltaikoa hirukoiztu, eta bioerregaien ekoizpenaren helburuak lau aldiz baino gehiago biderkatu direla.

68 <http://ec.europa.eu/commission_barroso/president/focus/energy_en.htm>

69 *Plan de energías renovables en España 2005-2010*, 2005eko abuztua, IDAE, Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

Plan de energías renovables. 2010erako helburuak, Espainian

	<i>PFER 1999-2010</i>	<i>PER 2006-2010</i>		
	<i>Espainian</i>	<i>Espainian</i>	<i>EAEEn</i>	<i>Nafarroan</i>
Potentzia eolikoa	8.974 MW	20.155 MW	250 MW	1.400 MW
Potentzia hidraulikoa (<50 MW)	~5.500 MW	5.456 MW	95 MW	209 MW
Potentzia fotovoltaikoa	135 MW	400 MW	26,1 MW	19,64 MW
Potentzia termoelektrikoa	200 MW	500 MW	0	0
Biomasa (elektrizitatea)	~2.000 MW	2.039 MW	Zehaztu gabe	
Bio-erregaiak	500 ktpb	2.200 ktpb (%5,83)	88 ktpb	154 ktpb
Energia termikoa (kolektoreak)	310 ktpb	376 ktpb	10,1 ktpb (130.000 m ²)	7 ktpb (90.000 m ²)
Energia termikoa (biomasa)	~3,9 Mtpb	4,1 Mtpb	Zehaztu gabe	

13. taula. Espainiako helburuak energia berriztagarriari dagokienez, 2010erako.

Argi geratzen denez, sorkuntza elektriko berriztagarriaren zutabeak energia eolikoa eta hidroelektrikoa dira. Energia eolikoaren garrantzia bereziki nabarmena da. Planak jarritako helburua 20 GW izan arren, Espainiako erkidegoek beren aldetik markatutako helburuak, guztira, ia 37 GW-eraino heltzen dira. Energia eolikoaren alde egindako apustua, argia eta indartsua da. PEReko helburuak betetzen badira, 2010ean sortutako energia elektriko eolikoa ia 26 TWh izango da; 2003an Espainian kontsumitu zen elektrizitatearen %10,8, hain justu.

Biomasaren betebeharra ere garrantzitsua da. Sorkuntza elektrikoan erabilitakoa kontuan hartu barik, 2010ean biomasaren ekarpena energia primarioaren 6,3 milioi tona petrolio baliokidekoa izango litzateke, 2003ko energia primarioaren %4,6. Haren barruan, bioerregaien pisua garrantzitsua da -garraiorako erregaien ordezkotuzuzenak-: 2,2 Mtpb, nahikoak bioerregaietarako EBko helburuak betetzeko (%5,83, EBak ezarritako %5,75eko helburuaren aurrean).

Euskal administrazioen helburuak

Ipar Euskal Herrian egitura politiko-administratiboaren gabezia begi bistakoa denez, Hegoaldean kontzentratuko gara. Hala ere, energia berriztagarriei dagokienez, Ipar Euskal Herriko egoeraz zertzelada batzuk eskainiko ditugu atalaren bukaeran.

Hego Euskal Herriko administrazioek ere, Euskal Autonomia Erkidegoak (EAE) zein Nafarroako Foru Erkidegoak (NFE), helburu batzuk dauzkate ezarrita, energia politikari dagokionez, zeinak Europako Batasunaren arteztarauek eta Espainiako Gobernuak jarritako helburuekin lerrokatzen diren; hala ere, ikusiko dugunez, kasu bakoitzean emaitza desberdinekin eta erkidego bakoitzaren ezaugarriek oso baldintzatuta.

Euskal Autonomia Erkidegoari dagokionez, indarrean dauden helburuak eta haiek betetzeko planak *Energia Garapen Iraunkorrerantz. Euskadi 2010 Energia Estrategia. Euskadiko Energia Politika* Eusko Jaurlaritzak plazaratutako dokumentuan daude jasota⁷⁰.

EAEn administrazioaren planak, ezaugarri geografikoek guztiz baldintzatuta daude. Egun, erkidegoaren baliabide energetiko fosilak ia hutsaren hurrengoa dira. Euskal Herrian inoiz aurkitu den baliabide fosil garrantzitsuena -eta ia bakarra-, Gaviota gas-hobien metanoa, guztiz agortuta dago. Izatez, XXI. mendearen hasieran, EAEn kanpoko energia-mendetasuna ia %95 da. Gehieneko auto-hornidura energetikoa 1989an gertatu zen: %33 -eta gutxieneko kanpoko energia mendetasuna, %67-, Gaviota gas-hobien ekoizpen gorena gertatu zenean; bost urte geroago, Gaviota hobiak agortuta zeuden (ikus 8. irudia). Laburbilduz: bertoko ekoizpen energetikoa txiki-txikia da, 401,6 ktpb 2004

⁷⁰ *Energia Garapen Iraunkorrerantz. Euskadi 2010 Energia Estrategia. Euskadiko Energia Politika*, Eusko Jaurlaritza.

urtean, kontsumo primarioaren %5,5. Ekoizpen horren zati garrantzitsu bat, %76, berriztagarria da. Hala ere, berriztagarrien garrantziak bertoko ekoizpen orokorraren gabeziari dio zor.

Munduko energia kontsumoaren patroiekin konparatuta, EAEko kontsumoak alde nabarmenak erakusten ditu: proportzionalki, petrolio gehiago kontsumitzen da, gas gehiago ere, baina ikatz gutxiago. EAEn ez dago sorkuntza nuklearrik, eta sorkuntza hidroelektriko eta berriztagarri elektrikoa oso apalak dira. EAEko kontsumoaren profila, garapen industrial oso altuko eskualde batena da. Industria sektoreak %48 kontsumitzen du; horri gehitu behar zaio EAEko biztanle-dentsitatea Europako altuenetariko bat dela, 290 pertsona baino gehiago kilometro karratuko, alegia. EAEko kontsumo maila oso altua da. Energiaren Euskal Erakundeak 2000. urterako emandako datuei kasu eginez gero, urte horretan Euskadin kontsumoa 2,4 tona petrolio baliokide biztanleko izan zen⁷¹, 2004an 2,65 tpb/biztanle-raino igo zelarik⁷², IEAk Espainiarako eta Frantziarako ematen dituen datuen artean kokatuz (2,81 tpb/biztanle Frantzian, eta 2,46 tpb/biztanle Espainian).

Bertoko baliabideen urritasuna eta ezaugarri geofisiko eta ekonomikoak -dentsitate altua, energiaren kontsumoan intentsitate altuko industria-sektore garrantzitsua izatea-, ziur aski, oso kontuan hartuta, Eusko Jaurlaritzako helburuak, Europako Batasunekoak baino asmo askoz xumeagoak dira: horiek betez gero, bakarrik energia berriztagarrien parte-hartzearen helburua beteko litzateke EAEn (energia primario osoaren %12 izatea). Elektrizitate berdearen sorkuntzari dagokionez, Eusko Jaurlaritzak sorkuntza elektriko osoaren %15ean balioesten du 2010ean izan litekeena, EBko Arteztarauak Batasun

71 *Energia Garapen Iraunkorrerantz. Euskadi 2010 Energia Estrategia. Euskadiko Energia Politika*, Eusko Jaurlaritza, 40. or.

72 *Energia 2004. Euskadi Datu Energetikoak*, Energiaren Euskal Erakundea, 2005, 70-71 or.

osorako agintzen duena -Espainiako helburua are eta altuagoa baita- baino zazpi puntu gutxiago.

Euskadiko Energia Politikan, intentsitate eta aurrezte energetikoa garrantzitsuak izango omen dira. 2010erako, aurrezte energetikoak %14koa izan beharko luke, 2000koaren aldean. Intentsitate energetikoaren hobekuntza nabarmenak –energia kontsumoaren hazkundera barne produktu gordinarena baino baxuagoa izatea- gertatu beharko luke 2010erako, 2000 urtearen aldean konparatuta, Energia Politikak intentsitatearen hobekuntza %16koa izatea aurreikusten baitu.

Aurrezte energetiko eta efizientzia energetikoaren hobetzeaz gain, energia eoliko eta biomasaren erabileran ere oinarritzen da EAEko energia politika -gas naturalaren erabilera masiboarekin batera, ziklo konbinatuen bitartez, ahaztu barik-. Espainiako *Plan de energías renovables* delakoak EAerako aurreikusitako 250 MW-eko potentzia eolikoaren aurrean (ikus 13. taula), 2010erako Eusko Jaurlaritzak energia eolikoari jarritako helburua 624 MW da. EAEko *Energia Eolikoari buruzko Lurralde Plan Sektorialak*⁷³, bere aldetik, erkidegoaren potentzial eolikoaren balioespena egin zuenean, ahaltasuna 1.300 MW-etan jarri zuen, 29 kokaleku desberdinetan. Markatutako helburuek, anbizio handikoak izateaz gain, lurraldearen potentzial osoaren ia erdia eramango lukete.

Biomasatik ateratako energiaren helburuei dagokienez ere, helburuak garrantzitsuak dira: 2010erako, 795 ktpb-ko ekoizpena espero da lortzea, 2000ko ekoizpena hirukoiztu baino gehiago eginez. Sorkuntza elektrikoaren kasuan, helburuak 191 MW-ekoak dira 2010erako, 2000 urtera arte instalatutako potentzia 30 MW baino ez izanik.

73 104/2002 DEKRETUA, maiatzaren 14koa, Euskal Autonomia Erkidegoan Energia Eolikoaren Lurraldearen Arloko Plana behin betiko onartzen duena. 9710. or.

Klima aldaketa sortzen duten eta Kiotoko Protokoloan jasota dauden gas isurketekiko helburuak ere, nahiko minduta ateratzen dira EAeko energia politikatik. Kiotoko itunean hartutako konpromisoen arabera, 2008-2012rako, Europako Batasunaren isurketa mailak 1990ekoa baino %8 gutxiago izan beharko du. Espainiari dagokionez, murrizte aldea %10 da, 1990 urtea erreferentzia hartuta. Hala eta guztiz ere, eszenatoki baikorrenean -politika instituzionalen eszenatokian-, EAEn isurketa maila, erreferentziazkoa gehi %11 baino handiagoa izango da. Kasu ezkorrenean, politika instituzionalik gabe eta ziklo konbinatuen erabilerarik gabe, isurketa maila, erreferentziaren %155era igoko litzateke, 2000. urtean erreferentziaren %124 izanik.

Laburbilduz, EAeko energia politika zeratan datza: energia aurreztu; efizientzia energetikoa hobetu eta baterako sorkuntza bultzatu -esan dugunez, baterako sorkuntza, sorkuntza elektrikoaren efizientzia hobetzeko modu erraz eta garrantzitsuenetariko bat da-; energia eoliko eta biomasaren erabilera bultzatu, ahal den heinean; eta gas naturala modu masiboan erabili, petrolio eta ikatzaren kontsumoak ordezkatzuz. Bereziki garrantzitsua da gasaren erabilera, energia politikaren barruan –baten baino gehiagoren ustez, baita gehiegizkoa ere-. 2010erako, EAEn ziklo konbinatuek sortutako potentzia elektrikoa, guztiaren %65 izango litzateke, eta gasaren kontsumoa barne kontsumo gordin osoaren %52 litzateke; ziur aski munduko indizeen altuenetakoak. Badirudi EAEn petrolioaren mendekotasunetik gasaren mendekotasunera pasatu nahi dutela gure agintariak. Mendekotasun merkeago –momentuz- eta garbiago batera, baina gero eta gehiago kutsatzen jarraitzen duen mendekotasuna ere, azken batean, kontsumoa murrizten ez bada.

Nafarroako Foru Erkidegoari dagokionez, 1996ko urtarrilean, Gobernu foralak *Nafarroako*

Energia Plana onartu zuen. Plan horren helburu nagusiak honako hauek ziren: energia berriztagarriak bultzatzea; energia iturriak dibertsifikatzea; aurrezte energetikoa bultzatzea; eta sare elektriko eta gasekoaren azpiegiturak bultzatu eta hobetzea.

Energia plana ambizio handikoa zen: 2005erako, energia berriztagarrien 1.334 MW-eko potentzia aurreikusi zuen, Foru erkidegoaren elektrizitate kontsumoaren %97 estaltzeko gai izango zena. Energia planak ezarritako helburuen arabera, 2010erako, aurreikusitako instalatutako potentzia 2.155 MW izango litzateke, urte horretan Nafarroan kontsumituko omen den energia elektrikoa guztiz estaltzeko gai izango den bezain beste. Aldiko helburuak ez dira guztiz bete, baina egoera, ezbairik gabe, EAEkoa baino askoz hobea da, eta Europa osoan zehar eredugarritzat hartzen da. Energia Planari esker, 2005ean Nafarroan instalatuta zegoen sorkuntza elektriko berriztagarriaren potentzia 1.128 MW zen, zeinak, Nafarroako energia elektrikoaren kontsumoaren %65 hornitzen baitzuen⁷⁴:

- 31 parke eoliko, 904 MW-eko potentziarekin, zeinek Nafarroako elektrizitate kontsumoaren %48 estaltzen baitzuten (2010erako Espainako Planak aurreikusitako potentzia: 1.400 MW).
- 157,4 MW-eko potentzia hidroelektrikoa, 10 MW baino gutxiagoko 111 minizentral artean bananduta, zeinak Nafarroako elektrizitate kontsumoaren hamarren bat estaltzen duen.
- Biomasatik elektrizitatea sortzen duen 25 MW-eko Sangesako planta, urteko 160.000 tona zereal hondakin errez, Nafarroako elektrizitatearen %4 sortzen duena. Gainera, beste 7,5 MW-eko zentral bat jarri da martxan berriki, baterako sorkuntza erabiltzen duena.

⁷⁴ *Las energías renovables en Navarra en 2005*. Dirección General de Industria y Comercio. Gobierno de Navarra.

- Bioerregaien ekoizte planta, Caparroson, zeinak urteko 35 ktpb bioerregai ekoizten duen.
- 13 MW-eko potentzia fotovoltaikoa eta 14.600 metro karratuko kolektore termikoak.

2005ean bertan, Nafarroako Energia Planaren berrazterketa bat hasi zen, *2005-2010 Energia Plana*⁷⁵ sortuz. Plan berrian, 2010erako, berriztagarrien ekarpena energia primarioan gutxienez %14,4 izatea espero da, Europa mailan jarritako helburuaren gainetik -%12-. Hala ere, badirudi Nafarroan apaltze eta hozte moduko bat gertatzen ari dela berriztagarriekin. Orain, 2010erako aurreikusitako instalatutako potentzia 1.785 MW izango litzateke, hamar urte lehenago bilatutakoa baino gutxiago. Ahalegin handienak energia eolikoaren eta biomasaren arloetan burutuko dira; hala ere, Euskadin gertatu denaren antza, Nafarroako agintariek gas naturalak elikatutako ziklo konbinatuen aldeko apustua egin dute. Horrela, egun potentzia eolikoa ziklo konbinatukoa baino gehiago da, baina 2010era begira gauzak aldatuko dira: urte gutxian ziklo konbinatuko potentzia bikoiztuko da, 800 MW-etik 1,6 GW-era pasatuz, kasu baikorrean sorkuntza eolikoa 1,4 GW-eraino helduko delarik -egun, 900 MW eoliko baino gehiago dago-.

2010. urtean sortutako elektrizitate berriztagarria Nafarroako kontsumo elektrikoaren %75 bezainbeste litzateke. Hala ere, buruaskitasunari dagokiolarik, ñabardura garrantzitsu bat gehitu behar diogu datu horri. Aurrekoak ez dakar 2010ean Nafarroa %75ean elektrikoki burujabea izango denik. Nafarroako sistema elektrikoa guztiz txertatuta dago Espainiakoaren barruan, eta haren mendean dago. Nafarroako sorkuntza elektrikoa, hein handi batean, sorkuntza eolikoan datza, zeina 5. kapituluan ikusiko dugunez nahiko aurreikusgaitza den. Nafarroako kontsumo elektrikoa kudeatzeko, momentuz, guztiz

75 *Plan Energético de Navarra 2005-2010*. Departamento de Industria y Tecnología, Comercio y Trabajo. Gobierno de Navarra.

beharrezkoak dira Espainiako zentral nuklearrak eta erregai fosilekoak.

EAEko eta Nafarroa Garaiko egoerak alderatzerakoan, badago elementu bat oso kontuan hartzekoa dena. Nafarroako eremua EAEkoa baino %30 handiagoa da. Gainera, EAEko populazioa Nafarroakoaren lau halakoa izanik, bi lurraldeen dentsitateen arteko aldea handiagoa da: Nafarroa Garaikoa 50 biztanle/km² da; EAEkoa, berriz, 290 biztanle/km² da. Seigarren kapituluan ikusiko dugunez, energia berriztagarrien garapenak eremuaren eskuragarritasunarekiko mendekotasun nabaria dauka, eta hego Euskal Herriko kasuan begi bistan geratzen da.

Iparraldeari dagokionez, hango energia politika Frantziako gobernuaren mendean dago, erabat. Gainera, horri gehitu behar zaio Frantzia, energia berriztagarrien erabilera eta bultzapenean, Europako beste estatu-kideen atzean dabilela⁷⁶. Arlo batzuetan, energia eoliko eta fotovoltaikoarena kasu, garapena Frantzian benetan murrizta da. Sorkuntza minihidraulikoaren kasua alde batera utzita -Frantzia liderra baita EBn sorkuntza mota horretan-, sorkuntza elektriko berriztagarria, oro har, garatzeke dago. Horren atzean, ziur aski, sare elektrikoa kudeatzen duen EdF estatu konpainiaren berriztagarriekiko malgutasun eza aurkituko dugu, baita orokorrean Frantzian dagoen atzerapena ere sorkuntza elektriko berriztagarriaren konexioa sarean bermatu, ekonomikoki sustatu eta ahalbidetzeko, gutxienez beste estatu-kide batzuetan bultzatutako politikak ikusita -Alemania, Espainia eta abar-. Sorkuntza elektrikorako ez diren beste arlo batzuetan, erabilera handiagoa izan arren, potentzialtasunetik oso urrun dago garapena: hori izango litzateke biomasaren kasua, adibidez, bero sortzeko.

76 *Renewable Energy Policy Review. France*, European Renewable Energy Council, 2004ko maiatza.

Frantzian, kontsumo primarioaren erdia da estatuan bertan ekoiztutakoa; hala ere, sortutako gehiena elektrizitate nuklearra da, %84,6. Ekarpen berriztagarria, berriz, kontsumo primarioaren %6,3 zen 2003an. Horren barruan, %30 hidraulikoa, %51 biomasatik sortutakoa, eta %12 hondakinetatik sortutakoa zen. Elektrizitatearen jatorriari dagokionez, Frantzian elektrizitate guztiaren %14 da berriztagarria -gogora dezagun 2010erako %21 izatea dela helburua -.

Ipar Euskal Herrira hurbilduz⁷⁷, Akitanian bertan ekoizten da Frantzian ateratako petrolioaren %38 eta gasaren %93. Hala ere, bertan ekoiztutako energiaren %72 nuklearra da, Blayais-en dagoen 951 MW-eko lau unitateko zentral nuklearrean, 1981-83an sortua. Elektrizitate berriztagarria eskualde horretan, sortutakoaren %10 da, Frantziako batezbestekoaren azpitik.

Ipar Euskal Herriko lurraldeak, Pirinio Atlantikoetako departamentu barruan daude. Horietan, biztanleko kontsumo elektrikoa EAEn baino baxuagoa da: 2004an 5,17 MWh/biztanle, eta EAEn 9,03 MWh/biztanle -espero daitekeenez, Euskadiko sektore industrialaren energia kontsumoa oso altua baita-. Iparraldeko elektrizitate kontsumoa estaltzeko, ekoizpen berriztagarria %9,4 zen 2005ean. Horren barruan, gehiena hidraulikoa (%86), eta biomasatik sortutakoa (%13). Geratzen den ehunekoa fotovoltaikoa da, ia hutsaren hurrengoa. Eolikorik ez dago ipar Euskal Herrian, eta edozer instalatzekotan ziur aski kostaldetik hurbileko itsas parkeetan ager liteke; alabaina, proiekturik ez dago oraindik. Ikusten denez sorkuntza hidraulikoa da garatuena -Akitania osoan 350 MW daude-, ur jauzi txikiak aprobetxatuz. Hala ere, leku gehienak jada erabilia daude, eta etorkizunerako garapenak oso mugatuak izango dira. Energia fototermikoari

77 *Le Double Défi Climat & Energie: quels enjeux pour Pays Basque 2020? Synthèse bibliographique*, Conseil de Développement du Pays Basque, 2006ko ekaina.

dagokionez, ur bero eta berokuntza hornitzeko erabiltzen diren sistema hauen potentzia dentsitatea mila biztanleko 10 m²-koa da, Frantziako batezbestekoaren gaineratik baina oraindik garapen motz batekin. Sorkuntza fotovoltaikoa ere oso txikia da, 200 kW baino gutxiago Iparralde osoan.

Biomasaren arloan ematen da, ziur aski, garapenerako tarte handiena. Egun, 10 MW-eko potentzia dago instalatuta, egurra eta hondakinak errez elektrizitatea eta bero sortzeko, baterako sorkuntzaren bidez. Arlo horretan, Frantziako administrazioaren bultzada eta laguntza ekonomikoa besteetan baino nabariagoa izan da; gainera, kontuan hartuz biomasaren potentzialitatea handia dela Pirinio Atlantikoetako departamentuan: 220.000 ha baso, departamentuaren eremuaren heren bat hain zuzen⁷⁸. Bioerregaien ekoizpenari dagokionez, hiru ekimen daude martxan Akitanian, izaera oso ezberdinekoak. Alde batetik, Abengoa Bioenergy France (ABF) konpainiak Lacq-en 100 kt bioetanol/urteko ekoizpena izango duen planta bat sortu du, artoa erabiliz. Zantzu guztien arabera, horren bitartez arto transgenikoaren ekoizpena sar daiteke Euskal Herrira. Beste alde batetik, Saipol-Lesieur taldeak Bassens-en 150 kt biodiesel/urteko ekoizpena izango duen beste planta bat bultzatuko du. Horretan, koltza erabiliko da lehengai moduan. Azkenik, Ekiondo proiektua dugu, Euskal Herriko Laborantza Ganbararen inguruan bultzatutakoa, zeinak laborarien auto-hornikuntzarako biodiesela hornituko duen, ekiloreak erabiliz.

78 *Session sur les énergies renouvelables*, Conseil général des Pyrénées-Atlantiques, 2006ko ekainaren 10a.

4. ETORKIZUNA: PROSPEKZIO LANAK

Kapitulu honetan beste bide batetik hurbilduko gara energia-sistemari buruzko eztabaidara: etorkizunari begira egindako prospekzio lanetatikoa, alegia.

Sarreran esan genuenez, etorkizunerako aurreikuspen eta prospekzioen bidea guztiz irristakorra, korapilatsua eta bihurria da. Etorkizuna zabalik dagoen heinean, ez dago guztiz zehazterik 20 urte barru zer gertatuko den. Hala ere, balizko jokaleku desberdinen jokora ere jolas dezakegu, gerta daitezkeen aukeren artean zeintzuk daukaten aukera gehien gertatzeko, eta zeintzuk ez, aztertuz.

Esperokoa denez, ez dago batere adostasunik etorkizuna zehazteko orduan. Eta ez bakarrik etorkizuna. Bigarren kapituluan aurreratu dugunez, petrolioaren arloan egungo egoera definitzerakoan ere, aldeak nabarmenak dira. Petrolioren betebeharra zibilizazio garatuetan hain garrantzitsua izanik, sakonago aztertuko dugu gai honetaz gertatzen ari den eztabaida, zeren petrolioaren benetako eskuragarritasunak guztiz baldintzatuko baitu geroko egoera energetikoa munduan. Zentzu horretan, ikusiko dugunez, ziurgabetasunak handiak eta nabarmenak izan arren, kezkatzeko moduko arrazoiak egon, badago, eta badirudi baikorrenei ere argi gorriak pizten hasi zaizkiela.

Kapitulu honen bigarren partean, petrolio albu batera utzita, jarraian ikuspegi orokorreko prospekzioei eskainiko diegu arreta: nazioarteko agentziek aldian-aldian plazaratzen dituztenei, hain zuzen; zeinek, baikorrenen alde lerrokatu arren, ondo aztertuz gero, arrisku seinale bat baino gehiago azaleratzen baitizkigute, informazio baliotsu asko

emanen. Zehazki, Nazioarteko Energia Agentziaren txostenak eta Europako Batasunaren aginduz egindako *WETO* (*World Energy, Technology and climate policy Outlook*) izeneko txostena aztertuko ditugu.

Petrolioia: ASPO vs. USGS

Petrolioari dagokionez, datozen hamarkadetan aurkituko garen egoeraz, inor gutxik jartzen du zalantzan petrolioaren erresebak mugatuak direla⁷⁹. Hala ere, hortik aurrera aldeak nabarmenak dira, honako hiru puntu hauetan, nagusiki: ^{a)}petrolio konbentzionalaren azken buruko erresebak; ^{b)}beste motatako petrolioaren erresebak, eskuragarritasuna eta erabilgarritasuna; eta ^{c)}nolakoa izan daitekeen petrolioaren ekoizpen maila, erreserben amaierarantz hurbiltzen garen heinean.

Aurreko puntuen gainean, bi jarrera nagusi daude: baikorrenak alde batetik, eta ezkorrenak bestetik -biek ala biek, noski, errealistatzat hartzen dute euren burua-. Baikorrenen artean AEBetako USGS (*U.S. Geological Survey*)⁸⁰ delako agentzia dugu. Aldian-aldian Nazioarteko Energia Agentziak plazaratzen dituen azterketak eta prospekzioak, esate baterako, haren azterlanetan oinarritzen dira, petrolioari eta gas naturalari dagokienez, behintzat. Ezkorren artean, eta USGSko lanarekin oso kritiko, ASPO elkartearen kideak ditugu.

ASPO (*Association for the Study of Peak Oil*) petrolioaren ekoizpen gorena aztertzen

79 Egia esateko, badaude kontrakoa esaten dutenak: petrolioaren jatorriaren teoria abiogenikoa defenditzen dutenak, alegia. Haien arabera, petrolioak ez dauka iturburu lur azpian prozesu geologikoen bitartez eraldatutako materia bizidunen hondakinetan, baizik eta sakonera askoz handiagoetan aurkitzen diren lur geruzetan. Hala ere, gutxiengoan dagoen jarrera da hori.

80 <<http://energy.usgs.gov/oilgas.html>>

duten akademiko, geologo eta zientzialariek osatutako elkarteak da⁸¹. Haien artean, Hubbertekin lan egin zuten geologo batzuk, eta Hubberten teoriak garatu, hobetu eta doitu dituztenak.

ASPOren ustez, geratzen diren petrolio erresebak 900 mila milioi upelekoak omen dira; petrolio ez-konbentzionala gehitzen bazaie, 1,4 bilioi upel geratzen dira munduan ekoizteke. Beraz, petrolio asko geratzen da. Hala ere, ASPOkoek sartutako ñabardurak garrantzitsuak dira. Haien aburuz, adibidez, geratzen den petrolioaren oparoa izanik, erraztasunez ateratzen dena -petrolio merkea- askoz gutxiago da. Haien ustez, nazioarteko instituzioak axolagabeki ari dira jokatzeko, arazoa bere neurrian ez hartzen. Gure artean, Roberto Bermejo -EHUko irakaslea, bera ere- da ASPOren mezua gehien zabaltzen dutenatariko bat⁸².

Beste aldean, USGS agentziaren ustez, munduko erresebak 2,3 bilioi upelekoak omen dira. ASPO eta USGSren balioespenen arteko aldeak, 14. taulan erakusten dira.

		<i>Erreserba frogatuak</i>	<i>Etorkizunean aurkitzeko</i>	<i>Erreserba guztiak</i>	<i>Ekoizpen metatua</i>	<i>URR*</i>
Petrolio konbentzionala	USGS	891 Gb	1.420 Gb	2.311 Gb	710 Gb	3.021 Gb
	ASPO	790 Gb	142 Gb	932 Gb	968 Gb	1.900 Gb
Likido guztiak	USGS	959 Gb	1.669 Gb	2.628 Gb	717 Gb	3.345 Gb
	ASPO			1.407 Gb	1.043 Gb	2.450 Gb

14. taula. Munduko erreseba frogatuak eta etorkizunean aurkitzekoak,

USGS⁸³ eta ASPOren⁸⁴ arabera. 1 Gb berdin 1 mila milioi upel petrolio baliokide.

(*URR: *Ultimately Recoverable Resources*, azken buruko baliabide berreskuragarriak)

81 <<http://www.peakoil.net/>>

82 Adibidez ikus Roberto Bermejo, *La gran transición hacia la sostenibilidad. Principios y estrategias de economía sostenible*, 6. kapituluak, 2005.

83 USGS World Petroleum Assessment 2000- Description and Results.

84 ASPO Newsletter #67, 2006ko uztaila, *The General Depletion Picture*, 2. or.

Azken buruko baliabide berreskuragarriak, inoiz ekoitzi ahal izango den petrolio guztia da. Une bakoitzean, ordura arte ekoiztutako petrolioan eta unean-uneko erreserbetan banatzen da. Erreserbak, berriz, momentuan frogatuak direnak alde batetik, gehi etorkizunean aurkituko direnak bestetik, izango dira.

Petrolio konbentzionalaren erreserba frogatuen balioespena antzekoa da bi elkarten kasuetan, 0,8 eta 0,9 bilioi artekoa -aldea, gainera, balioespenetako urteen arteko aldeari egotzi dakioke: USGSkoa 2003an, eta ASPOkoa 2006an-. Hala ere, han bertan bukatzen dira antzekotasunak. Etorkizuneko aurkikuntzetarako, ASPOk 142 Gb ematen du; USGS agentziak, berriz, bere balioespena hamar aldiz biderkatzen du: 1.420 Gb. Zentzu horretan, USGSko adituak baikorrak dira benetan -ASPOkoak baino hamar aldiz gehiago, gutxi gorabehera-.

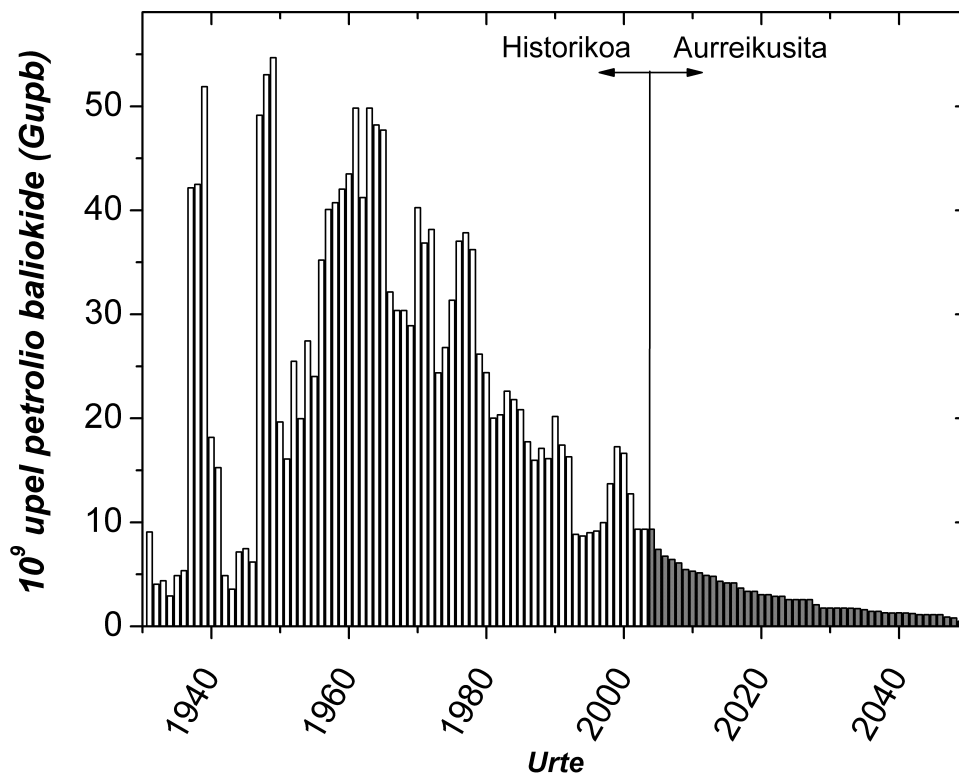
Gauzak horrela, azken buruko petrolioaren balioespena ASPOk 1,9 bilioi upeletan jartzen du; USGS agentziak, ordea, 3 bilioitan. ASPOren kasuan, geratzen diren erreserbak azken buruko petrolioaren %49,1 da; USGSren kasuan, aldiz, %76,5. Baikorren eta ezkorren artean, ikusten denez, desadostasunak nabariak dira. Nork dauka arrazoi?

Datu hauetatik atera daitekeen lehenengo ondorioa zera da: petrolio asko geratzen da lur azpian; gutxienez erdia, hori baita ezkorrenen balioespena. Hala eta guztiz ere, ASPOren elkartekideentzat, petrolio konbentzional osoaren erdia agortzea garrantzi handikoa litzateke; muina, Hubbertek garatutako eredu matematikoan datza.

ASPOren ikuspuntua

ASPOren ikerketen eta ikuspuntuaren ondorio nagusiak 15. eta 16. irudietan islatzen dira.

15. irudian, munduko petrolio hobien aurkikuntzen historia-erregistroa eta etorkizunerako aurreikuspenak erakusten dira, ASPOren arabera. Ikus daitekeenez, petrolio hobien aurkikuntza gehienak 1940 eta 1980 urteen bitartean gertatu ziren: Persiar Golkoko gehienak, Ipar Itsasokoak, eta Alaskakoak. Zantzu guztien arabera, aurkitzeke geratzen dena gutxi da.



15. irudia. Petrolioaren aurkikuntzak. Historia-erregistroak eta aurreikuspenak, ASPOren arabera.

Ekoizteke geratzen den petrolio ez da hain erraz aterako, eta askoz garestiagoa izango da, petrolio ez-konbentzionala deritzotena baita: Poloetakoak, sakonera handiko uretakoak, petrolio astuna, gasetik eta ikatzetik ateratakoak, eta abar.

Nagusiki, bi mailatan sailka daiteke petrolio ez-konbentzionala. Alde batetik, benetako petrolio dugu, baina ateratzen konbentzionala baino askoz zailagoa dena. Hori da poloen azpian aurkitzen den petrolioaren kasua, eta orokorrean *permafrost* lur geruzaren azpian dagoenarena -*permafrost* da temperatura oso baxuen eraginez beti izoztuta dagoen lurpeko geruza-. Petrolioaren ezaugarri fisiko-kimikoak printzipioz konbentzionalekoak izan arren -biskositatea eta abar-, temperatura oso baxuek nabarmenki zailtzen dute haren erauzketa. Mota honetakoa ez da bakarrik poloetako petrolio, baizik eta Alaskan eta Siberian erauzten denaren zati garrantzitsu bat ere.

Ezaugarri fisiko-kimiko konbentzionalak ere dauzka itsasoan aurki daitekeen petrolio. Hala ere, orain arte itsasoan erauzitako petrolio gehiena, plataforma kontinentaletan eta sakonera gutxiko -200 metro baino gutxiagoko- uretan erauzi da; gehiago ateratzeko, plataforma erraldoiak sakonera handiagoko uretara mugitzen ari dira, milaka metroko ur azpitik petrolio ateratzeko. Uler daitekeenez, erauzketa prozesuak eta haien kostuak guztiz desberdinak izango dira Arabiar penintsulan, non eta -orain arte- erauzketaren kostua oso baxua izan den, eta Mexikoko Golkoko Itsasoan, non eta plataformen eta hobien artean bi kilometro ur eta lau kilometro lur dagoen⁸⁵.

Beste aldetik, beren osaera-ezaugarrietan konbentzionalengandik aldentzen diren petrolio baliabideak, petrolio ez-konbentzionaltzat hartzen dira. Mota horietako petrolio ez-konbentzionalak prozesatze gehituak beharko ditu petrolio konbentzionalaren antzekotasuna lortzeko. Haien artean, ikatzetik ateratzen den petrolio sintetikoa dugu -II. Mundu Gudan alemaniarrek beren makineria militarra elikatze erabili zutena-, edota gas-hobietatik metanoarekin batera ateratzen diren beste hidrokarbuo likidoak. Hala ere,

85 Tim Appenzeller, "End of Cheap Oil", in National Geographic, 2004ko ekaina.

sail honetan garrantzitsuenak petrolio astun, are asfaltiko eta eskistoetatik ateratako petrolio baliabideak dira -alde nabarmenarekin, gainera⁸⁶. Haietan datza, hein handi batean, USGS eta ASPOren arteko desberdintasun izugarriak, etorkizunerako aurreikuspenak plazaratzean.

Petrolio astuna da biskositate oso altua daukana, eta haren erauzketa, beti, petrolio konbentzionalarena baino askoz zailagoa da.

Are asfaltikoak, lur azaletik oso hurbil dauden petrolio oso astuneko iturburuak dira. Ziur aski, erreserba berezi horiek, sakonera handian petrolio osatzerakoan, hobitik aitzindaria askatu eta azaleratzean sortu ziren, orain dela milaka milioi urte. Munduan, herri askotan aurki daitezke are asfaltikoen biltegiak, baina bi eskualdeek biltzen dute petrolio konbentzionaleko munduko erreserbak baino petrolio gehiago: Albertako eskualdea Kanadan, eta Orinoko ibaiaren ingurukoa Venezuelan. Erreserbak itzelak izanik, benetako eskuragarritasuna askoz mugatuagoa da. Alde batetik, are asfaltikoak azalean ez daudenean, erauzteko prozesuak lurrin injekzioak eskatzen ditu, eta berreskuratzen den substantzia oso gutxi da. Beste aldetik, prozesuak energetikoki -baita ingurumenari begira ere- oso garestiak dira. Erauzketa prozesuetan metanoa eskatzeaz gain, are asfaltikoak petrolio konbentzional bihurtzeko, ur pila zein energia ugari dira beharrezkoak. Petrolio konbentzionalarekin konparatuta, are asfaltikoetatik ateratako petrolioaren eskuragarritasun erreala askoz txikiagoa da, eta kostuak askoz altuagoak. Horren atzean aurki daitezke arrazoiak egungo petrolio ekoizpenaren %8 inguru baino ez izateko, nahiz eta are asfaltikoen erreserben balizko balioespena petrolio konbentzionalarena baino altuagoa izan.

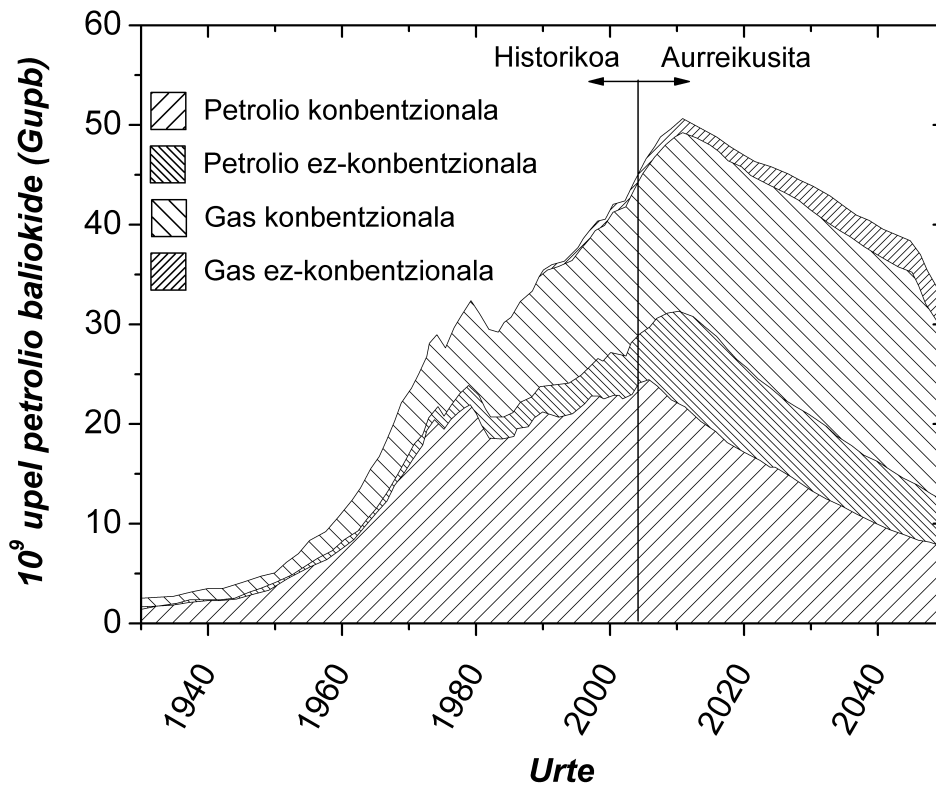
86 Kenneth S. Deffeyes, *Beyond Oil. The View from Hubbert's Peak*, 6. eta 7. kapituluak, 2005.

Eskistoetatik atera daitekeen petrolioaren kasuan, egoera nabarmen larriagotzen da. Petrolio eskistoak, petrolioaren sorkuntzan aitzindariak diren baina prozesu geologikoetan hura sortzeko beharrezko sakonerara -beharrezko tenperatura eta presioak nozitzeko-heldu ez diren arroak dira. Zentzu horretan, petrolio sortzeko behar diren osagaiak izanik, prozesu egokien eraginpean jartzen badira, litekeena da haietatik petrolio sortzea: tona bat eskisto arrokek upel bat petrolio. Printzipioz, eskistoen erreserba potentzialak itzelak omen dira: AEBetako Utah, Colorado eta Nevada estatuen Green River-eko eskualdekoak bilioi bat upel baino gehiagokoak omen dira; hala ere, bideragarritasun tekniko eta ekonomikoa, egun, hutsaren hurrengoa da.

ASPOren aburuz gerta litekeen petrolio eta gas naturalaren ekoizpena, hala orain arte gertatukoa nola etorkizunean, 16. irudian erakusten da. ASPO elkarteari jarraituz, petrolio konbentzionalaren ekoizpen gorena 2005-6 urteen bueltan gertatu omen da. Azken urteotan petrolio ez-konbentzionalaren ekoizpenak gora egin arren, gorago aipatutako arrazoiengatik multzo zabal horretan sartzen diren ezohiko petrolio iturburuek ezin izango dute urte luzez ekoizpen konbentzionalaren beherako joera orekatu, eta mota guztietako petrolio baliabideen ekoizpenak 2010. urtearen bueltan joko luke puntu gorena.

ASPOko ikerlarien eta USGSkoen arteko talka gunea, erreserben amaierarantz hurbiltzen garen heinean ekoizpen maila nolakoa izan daitekeen inguruan dago, nagusiki. 3. kapituluan Saudi Arabiako egoera aztertu genuenean ikusi zenez, herrialde horretako agintariek ziurtatzen dute eskualdeko ekoizpena -munduko petrolio gehien biltzen dueneko, alegia- maila oso altuan -eguneko 15 milioi upeletan, gaur egungoa baino %50 gehiago- eta modu egonkor batean -gutxienez 15 urtez- manten dezaketela. Hori, ordea, guztiz bateraezina da 16. irudian islatutakoarekin. ASPOko adituen arabera, argi geratu

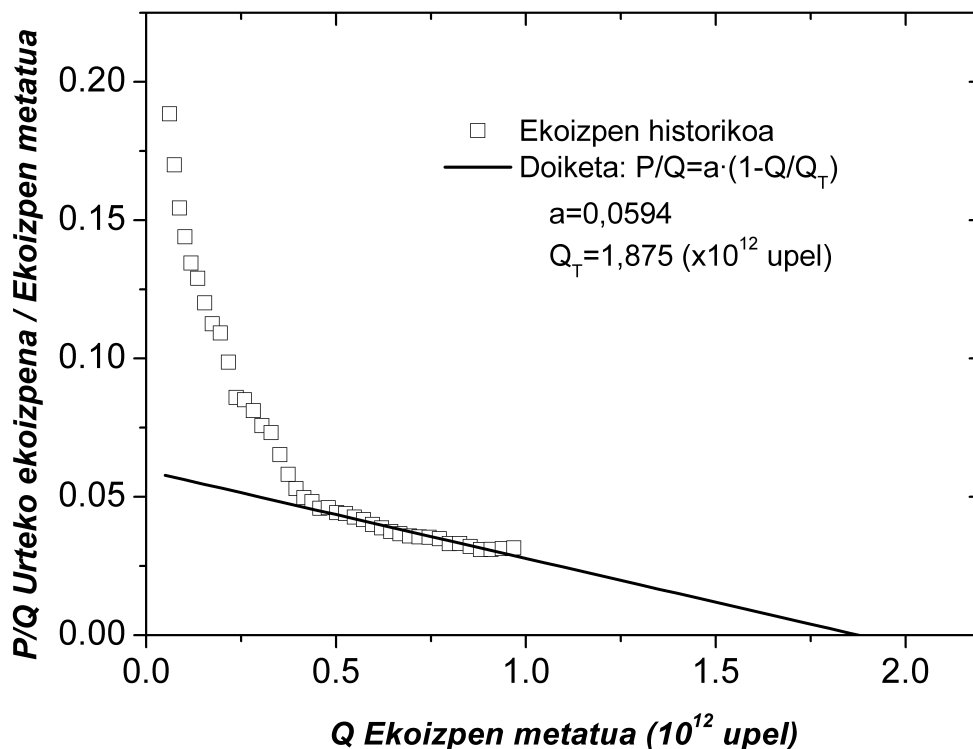
behar da petrolio erreserbak agortuz doazen heinean, geratzen den petrolio ekoiztea gero eta zailago eta garestiagoa izango dela.



16. irudia. Petrolio eta gas naturalaren ekoizpena. Historia-erregistroak eta aurreikuspenak, ASPOren arabera.

Honetaz, 3. kapitulan aurkeztutako Hubberten kurbaren ekuazio logistikoa behar-beharrezko erreferentzia da. Esan genuenez, eredu matematiko horren arabera, petrolioaren ekoizpena bi magnitude zehatzen menpe dago: petrolioaren ekoizpen metatua (Q), eta azken buruko erreserbak (Q_T). Petrolioaren ekoizpenak (P) eta ekoizpen metatuak (Q) eredu logistikoiari jarraitzen badiote, denboran zehar, portaera nabaria daukate, zeina $P/Q = a \cdot (1 - Q/Q_T)$ ekuazio logistikoen bitartez azaltzen den, eta bakarrik a konstantearen eta azken buruko erreserben (Q_T) mendean dagoen. Hubberten ereduari

jarraituz, ekoizpen metatuak azken burukoaren erdia gainditzen duenean, gehieneko balioa -puntu gorena- jotzen du ekoizpen erritmoak (P), hortik aurrera behera jaitsiz. Azken buruko erreserben bigarren erdia ekoizten den heinean -ekoizpen erritmoaren puntu gorena gaindituta-, ekoizteko abiadura motelduz joango litzateke.



17. irudia. P/Q vs. Q kurbaren doiketa, ekuazio logistikoarekin ($a=0,059395$ eta $Q_T=1,875$ bilioi upel⁸⁷).

Baina eredu logistikoak badauka beste elementu interesgarri bat. Petrolio ekoizpenaren bilakaera historikoa azken buruko erreserben (Q_T) mendean omen dagoenez ekuazio logistikoaren bitartez, arrazoibideari buelta emanez, ekoizpenaren erregistro historikoek

⁸⁷ Eredu logistikoa erabiliz P/Q vs. Q kurbaren doiketa egiteko, *BP Statistical Review of World Energy, 2005*, txostenean plazaratutako datuak erabili ditugu; doiketa, berriz, 1985 eta 2005eko datuekin egin dugu. K.S. Deffeyesek, bere aldetik, 1983 eta 2003 arteko beste datu batzuk erabiliz, Q_T 2 bilioitan eta a konstantea 0,059tan balioetsi zuen. Ikus Kenneth S. Deffeyes, *Beyond Oil. The View from Hubbert's Peak*, 42-45 or.

hain eztabaidagarri den magnitude hori $-Q_T$ ezagutzea ahalbidetzen dute, ekuazio logistikoa bera erabiliz. Analisi hori, 17. irudian erakusten da, non eta P/Q vs. Q erregistro historikoen kurba agertzen den. Irudi berean, eredu logistikoa erabiliz, petrolio ekoizpenaren erregistro historikoen doiketa ere erakusten da. Eredu logistikoari kasu eginez gero, ardatz bertikalarekiko ebakidurak a konstantea ematen du, eta ardatz horizontalarekiko ebakidurak Q_T , azken buruko erreserben balioespena hain zuzen. Erabilitako doiketa gunea, munduko ekoizpen metatua bilioi erdi bat eta bilioi bat artean izan den bitartekoa da, hau da, petrolioaren ekoizpena trinkoena izan denean, 1985 eta 2005 urteen bitartean. Doiketak, a konstanterako, 0,0594 balioa ematen du, eta garrantzitsuagoa dena, Q_T -ko balioespena 1,875 bilioi upeletan jartzen du, ASPOk balioetsitako 1,9 bilioietatik oso hurbil, eta USGSk emandako 3 bilioietatik nabarmenki aldenduta.

Edonola ere, badago beste arrazoi bat ASPO eta USGSren balioespenen arteko aldeak azaltzeko. Hirugarren kapituluan esan genuenez, *aurkitzeke geratzen diren baliabideak* benetan aurkituko direlako ziurtasuna adierazteko, probabilitate zehatz batekin lotuta adierazten da erreserben balizko balio hori *-erreserba frogatuak* izendatuz, zenbateko hori baino gehiago izateko aukerak %90 badira; *erreserba probableak*, probabilitatea %50 bada; eta *erreserba posibleak*, probabilitatea %10ekoa bada-. ASPOren balioespenen kasuan, etorkizunean probabilitate altu batekin zenbait baliabide aurkituko dela kontuan hartzeko, probabilitate hori altua izan behar da, %90-95 *-erreserba frogatuentzat* erabiltzen den probabilitatea-. USGSren kasuan, ordea, *aurkitzeke geratzen diren baliabideak* kontuan hartzeko eskakizunak askoz lausoagoak dira. USGSk, ASPOk egiten duenaren kontra, ez ditu erabiltzen *erreserba frogatuen* zenbatekoak, baizik eta hiru kontzeptuen arteko batezbesteko estatistiko bat, zeina, azken buruan, *erreserba probable*

eta *erreserba posibleen* balioen artean kokatzen den, beti *erreserba frogatuen* balioaren oso gainerik.

USGSren aurreikuspenetan, sendotasuna askoz ahulagoa eta irristakorragoa da, arloan egiten diren beste batzuetan baino. Adibide moduan, Colin Campbellek arreta eskatu du USGSk 2000. urtean mundu osorako egindako balioespenen gainean⁸⁸. USGSren dokumentuetan irakur daitekeenez⁸⁹, Groenlandiako ekialdeko kostaldean balioetsitako erreserbak honako hauek dira, USGSren arabera: erreserba frogatuak (%95eko probabilitatearekin) 0 upel; erreserba probableak (%50eko probabilitatea) 47 mila milioi upel; eta erreserba posibleak (%5eko probabilitatea) 112 mila milioi upel. Erreserba frogatuak hutsaren hurrengoa izan arren, USGSk Groenlandiako arro horretarako emandako erreserben balioespenaren batez besteko balioa, 47 mila milioi upel da. Fidagarria da hori?

C. Campbellen ustez, USGSren ikerketak puztu egiten ditu oraingo erreserben hazkundera eta etorkizuneko aurkikuntza berrien garrantzia. Hala ere, USGSren txostenak oso kontuan hartzekoak dira, horietan oinarritzen baitira gobernu edota nazioarteko agentzia bat baino gehiagoren aurreikuspenak eta politikak.

IEA eta WETOn aurreikuspenak

Kapitulua azken zatian, energia egoeraekin lotuta mundu mailan egindako aurreikuspen esanguratsu eta garrantzitsuenetariko bi jorratuko ditugu. Lehenengoa, IEA –Nazioarteko Energia Agentzia– orokorrean bi urtean behin plazaratzen duena izango da;

88 C. Campbell, *The Assessment and Importance of Oil Depletion*, in A. Mckillop eta S. Newman, *The Final Energy Crisis*, 2005, 40-41 or.

89 <<http://energy.cr.usgs.gov/WEcont/regions/reg5/r5gree.pdf>>

bigarrena, orain dela urte batzuk WETO taldeak Europako Batasunaren aginduz egindako eta plazaratutako txostena, eta Europako energia politika orientatzen duena. Haien ikerketak, eta bereziki IEAk egindakoen bilakaerak -zeren, azken lau urteotan, IEAk lau txosten mardul aurkeztu baititu, eta haien arteko aldaerak eta ñabardurak benetan esanguratsuak baitira- lagunduko digu epe ertaineko energia egoera pixka bat argitzen.

IEAren proiektzioak (Nazioarteko Energia Agentzia)

IEA, OECDren barruan 1974 urteko petrolio krisiaren haztapenean sortutako agentzia bat da. Estatu-kideen artean, herri garatu gehienak; hala ere, petrolio ekoizle garrantzitsuenak -OPECeko kideak, Errusia-, eta kontsumitzaile mamitsu batzuk -Txina eta India, adibidez- agentziaren kanpo daude.

IEAren helburu nagusia petrolioaren hornidura mundu mailan ez etetea da. Horri laguntzeko, estatu-kide guztien artean gutxienez 90 eguneko petrolio inportazioen baliokide den stocka giltzapean mantentzen dute, gutxi gorabehera 4 mila milioi upeleko erreterbak, era kontrolatuan merkaturatzeko hornitze krisi bat gertatuz gero. Gainera, IEAk petrolio eta beste baliabide energetikoen merkatuen gaineko informazio eta datu estatistiko ugari biltzen ditu, munduko egoera energetikoari buruzko informazio argigarria eta fidagarria emateko asmoz. Zentzu horretan, ezagunak dira aldian-aldian agentziak plazaratzen dituen txostenak, eta baita aldez aurretik gobernuen artean egindako inkestetan oinarritutako munduko kontsumoaren datu-basea ere⁹⁰. Nazioarteko Energia Agentziaren betebeharra ere dira energia politiken hobekuntza, energia alternatiboen bultzatzea eta nazioarteko lankidetzaren baina guri orain gehien axola zaiguna etorkizunean gerta litekeenaz IEAren ikuspuntua da, horrek sakonki baldintzatzen baititu herrialde

90 <<http://www.iea.org/Textbase/subjectqueries/index.asp>>

garatuen energia politikak.

2002 urtetik, 2030 urterako aurreikuspenak aurkezten ditu agentziak, aldian-aldian. Mezu nagusia, modu ezin hobean dago bilduta *World Energy Outlook 2002* txostenaren laburpen exekutiboan⁹¹:

[Txosten honek erakusten duen balizko etorkizunean] energia erabilerak ezinbestean jarraituko du hazten, erregai fosilek energia baliabideen gaman nagusi izaten jarraituko dute eta garapen bideko herrialdeak arin gerturatuko dira OECDko kideengana, energia komertzialaren kontsumitzaile nagusien moduan. Lur planetaren baliabide energetikoak, ezbairik gabe, egokiak dira gutxienez datozen hiru hamarkadetan geroz eta handiagoa izango den eskaera betetzeko. Baina txosten honetako proiektioek ganorazko kezka sortzen dituzte energia hornikuntzaren segurtasunaren gainean, energia azpiegituren inbertsioen gainean, energiaren ekoizpen eta erabilerak sortutako ingurumen-kalteen mehatxuaren gainean, eta energia berrietara munduan zehar dagoen heldze desorekatuaren gainean.

IEA mezu orekatu bat zabaltzen saiatzen ari da, zeinean baikortasunerako arrazoien eta kezkatzeko arteko oreka zail bateko tentsio bat nabaritzen zaion. Alde batetik, munduko baliabide energetikoak nahikoak dira etorkizuneko beharrak asetzeko; beste aldetik, baliabide energetiko horien kudeatzeak -energia sistema osoak, azken batean: sorkuntza, banaketa eta kontsumoa bere baitan hartzen dituenak- egiturazko arazo garrantzizko batzuk ditu, etorkizunean aurre egin beharko zaizkienak. Esanguratsuena dena, azken

91 *World Energy Outlook 2002*, International Energy Agency, 2002, 25. or.

urteotan Agentziaren aurreikuspenen bilakaera ikusita, badirudi oreka zail eta hauskor hori urratzen ari dela, etorkizuneko gako nagusiak, kezkatzeko moduko balantzaren aldera mugituz.

2002an plazaratutako txostenaren aurreikuspen nagusienak, 2030 urtera begira, honako hauek ziren:

- Energia primarioaren urteko kontsumoa, 15,3 Gtpb (mila milioi tona petrolio baliokide) izango litzateke -2000n, kontsumoa 9,2 Gtpb izan zen-. Horrek, energia primarioaren kontsumorako, %1,7ko batez besteko urteko hazkundera dakar.
- Petrolioaren kontsumoari dagokionez, agentziaren aurreikuspenak USGSkoekin lerrokatzen dira, zeinen arabera munduko erreserbak nahikoak diren etorkizuneko eskaera asetzeko; proiektioek petrolio upelaren prezioa 29 dolarretan kokatzen dute 2030 urterako, munduko eguneko ekoizpena 120 milioi upelekoa izanik -2000n ekoizpena 75 milioi upel eguneko izan zen-.
- Gas naturalaren eskariak, beste edozein erregairenak baino indar gehiagoz joko du gora. Gasaren kontsumo primarioa bikoiztuko da gaurtik 2030 urtera arte, eta munduko energia eskaeran gasaren kuota %23tik %28raino pasako da epe berean.
- Ikatzen kontsumoa ere haziko da, baina petrolioarena eta gasarena baino mantsoago. Txina eta Indiak, biek batera, 2030 urtera arteko munduko ikatz eskaeraren hazkunderaren bi heren metatuko dute.
- Munduko potentzia nuklearrak nabarmen egingo du behera, errektore berri gutxi eraikiko baitira, eta hainbat betiko itxi. Ekoizpen nuklearrak hamarkada honen amaieran joko du puntu gorena, eta geroago apurka-apurka behera joan. Haren kuota munduko energia primarioaren eskaeran, %7 inguruan mantenduko da 2010

arte, geroago jaitsiz, 2030ean %5 izan arte.

- Energia berriztagarriek paper gero eta garrantzitsuago bat beteko dute munduko energia primarioaren eskaera barruan.
- Energia-salerosketak arinki zabalduko dira; petrolio eta gasaren kontsumitzaile nagusi diren eskualdeek, beren inportazioak nabarmen handituz ikusiko dituzte. Agentziaren hitz berberak erabiliz, “hornikuntzaren segurtasuna, energia-politikaren lehentasun bihurtu da”.
- Energia eskaerak, arinen, garapen bideko herrialdeetan egingo du gora: 2000 eta 2030 urteen arteko munduko energia primarioaren eskaeraren hazkundearen %60 baino gehiago herrialde horietan sortuko da, bereziki Asian. Txinak, egun munduko bigarren energia kontsumitzaile handiena izanik, energia merkatuetan bere pisua handitzen jarraituko du, hazkunde ekonomiko indartsuak eskaera eta inportazioak bultzatuz gero.
- Azkeneko kontsumoaren ikuspuntutik, garraiorako erabilerak beste guztiei aurrea hartuko die: energia eskaerak, garraio sektorean -ia gehiena petrolioaren kontsumoan oinarrituta-, urteko %2,1eko erritmoz haziko da, beste edozein sektoretan baino arinago. 2020ko hamarkadan, industria sektoreari hartuko du aurrea, alegia, eta hortik aurrera eskaeraren aldetik sektore garrantzitsuena izango litzateke. Elektrizitatearen hazkundera ere, beste edozein energia-erotalerena baino altuagoa izango da epe berean, %2,4 batez besteko urteko hazkunde batekin.
- Sorkuntza elektrikoaren sektorean, datozen hamarkadetan, beharrezko inbertsio ekonomikoa 4,2 bilioi dolarrekoa izango litzateke, egungo azpiegituren berrikuntzei eta premia berriak asetzeko beharrezkoak izango direnei aurre egiteko -erreferentzia moduan, 2003an, Espainiako barne produktu gordina 0,6 bilioi dolarrekoa izan zen, eta Frantziakoa 1,4 bilioi gutxi gorabehera-.

Hala ere, baikortasun eta larritasun arteko mezu orekatua, hurrengo urtean hasi zen okertzen. 2003an, IEAk, energia sektorean beharrezko inbertsioei buruzko txosten mardul bat plazaratu zuen⁹². Han, datozen hogeita hamar urteotan munduko energia-katearen zati guztietan zehar beharrezkoak -egungo kontsumo joerek bere horretan jarraituz gero- izango liratekeen inbertsioen irudi moduko bat osatzea hartu zen helburutzat.

World Energy Investment Outlook 2003 txostenak plazaratu zuen zenbatekoa, izugarria eta edonori pentsarazteko modukoa zen: 16 bilioi dolarrekoa, datozen hogeita hamar urteetan zehar, hala energia azpiegituraren hedapena, nola azpiegitura zaharkituaren berrikuntza finantzatzeko. Printzipioz, IEAk behin eta berriz errepikatzen du energia-baliabideen aldetik urritasunik ez dagoela; baina balizko baliabide horiek benetako hornidura bihurtzeko beharko diren kapitalen bila, energia sektoreak buru-belarri aritu beharko du, ekonomiaren beste sektore batzuekin lehia bizian.

IEAren irudiko, sektore elektrikoa izango da -sorkuntza elektrikoa, elektrizitatearen garraioa eta banaketa- inbertsioaren zati nagusia eskatuko duena: 10 bilioi dolar, inbertsio osoaren %63. Datu horrek txiki uzten du IEAk berak aurreko urtean balioetsitako datua, 4,2 bilioi dolarrekoa, alegia. Urte bakar batean, agentziak bikoiztu baino gehiago egin zuen bere balioespena. Ia inbertsioaren erdia, garapen bideko herrialdeek eramango lukete; inbertsio osoaren zati garrantzitsu bat, bakarrik egungo kontsumo maila mantentzeko izango litzateke beharrezkoa, zeren egungo azpiegiturak berritzeko kapitalen eskaera oso altua izango baita datozen urteotan -zaharkitze epean dauden zentral termiko eta nuklear askoren kasua, eta abar-.

92 *World Energy Investment Outlook 2003*, International Energy Agency, 2003.

Inbertsio zenbatekoa hain da ikaragarria, zeren txostengileek ere ez baitute uste aurreikuspena beteko denik. Izan ere, haien aburuz, zoritxarreko irudipena betez gero, energia kudeaketa iraunkorrago bat lortzeko, arduradun eta politikarien gaitasunik ezaren seinale baino ez litzateke izango⁹³.

2004an, IEAk *World Energy Outlook* txostenaren beste bertsio bat kaleratu zuen⁹⁴. Han jorratutako ildo nagusiek, bi urte aurreko txostenaren ildotik jarraitzen dute. Sektore elektrikorako aurreikusitako inbertsioa, hala ere, orain 10 bilioi dolarrekoa da, 2003ko txostenari jarraituz. Hala ere, segurutik aurreko urteetako energia kontsumoaren hazkunde altua ikusita, 2030erako aurreikusten zen kontsumo primarioa 16,5 Gtpb-raino igo zuen, bi urte lehenagokoa %8 handituz. Era berean, munduko eguneko petrolio ekoizpena pixka bat igo zuten, 121 milioi upeletan kokatuz. Hala ere, 2030eko petrolio upelaren salneurria 29 dolarretik 35 dolarretara igo zuten -agian, ozenki esan nahi ez arren, zeruertzean petrolioaren ekoizpen gorena ikusten hasi zirelako?-.

2005ean, IEAk beste txosten bat plazaratu zuen⁹⁵, kasu honetan txosten arteko bi urteko epea bete zedila itxaron gabe. 2005eko txostenean, Ekialde Ertaineko eta Ipar Afrikako herrialdeei (*Middle East and North Africa*, MENA) begirada berezi bat eskaini nahi izan zieten, agentziaren hitzetan herrialde horietako petrolio eta gasaren baliabideak guztiz erabakigarriak izango direlako energia gosetea asetzeko.

Txostenak beste behin adierazten du munduko baliabideak nahikoak direla eskaera globalari aurre egiteko. Alabaina, badirudi argi gorriak gero eta gorriagoak direla. Txosten

93 Ibid., Claude Mandil zuzendari exekutiboaren hitzaurrea, 3. or.

94 International Energy Agency, *World Energy Outlook 2004*, 2004.

95 *World Energy Outlook 2005 -- Middle East and North Africa Insights*, International Energy Agency, 2005.

honetan, jada, egungo kontsumo joera, nahiz eta ez modu argi batez, eutsiezintzat hartzen hasiak dira agentzian, zioak nagusiki berotegi-efektuko gasen isurketei eta energiaren hornikuntzaren segurtasun ezari egotzita.

Egileek, egungo joera aldatuko luketen politikak ezartzeko deia egiten dute, argiki. Aurrean izan ditzakegun aukerak kontuan hartzeko, txostenak hiru eszenatoki nagusi aurkezten ditu. Lehenengoan -“Business as usual” delakoa-, egungo politikak aldatu ezean, aurreko urteko txostenarekin konparatuta, 2030erako kontsumo primarioa pixka bat jaisten dute, 16,3 Gtpb, batez besteko urteko hazkundera %1,6tan balioetsiz, eta beharreko inbertsioen kopurua gehiago handitzen dute (17 bilioi dolarrekoa; lehen, 16 bilioikoa mundu mailan). Petrolioari dagokionez, haren kontsumoa motelitzen dute (eguneko 115 milioi upelerraino), eta upelaren salneurria, berriro, garestitzen dute, 39 dolarreraino. Ez dirudi, beraz, urte batetik bestera aurreikuspenak hobetuz doazenik.

Politika alternatiboen eszenatokian -“World Alternative Policy Scenario” delakoan, non eta energia berriztagarrien erabilera tinkotasunez bultzatuko litzatekeen, eta efizientzien hobekuntzak garrantzitsuak liratekeen-, kontsumoaren murrizketa xede hartuta neurri politiko egokiak hartuz gero, energiaren kontsumoaren batez besteko urteko hazkundera %1,2ra jaitsiko lirateke, 2030ean 14,9 Gtpb-tan kokatuz, baina oraindik egungo kontsumoa baino %40 gehiago izanik.

Hirugarren eszenatokian -inbertsio gutxikoa, “Deferred Investment Scenario” delakoa-, hau da, 17 bilioiko inbertsio horiek era nabarmenean beteko ez balira, nagusiki MENA delako herrialdeetan eta bereziki petrolio eta gasa ekoizteko sektoreetan, balizko petrolio ekoizpena erreferentziazko eszenatokiarena baino motelagoa izango litzateke, 105 milioi

upel eguneko -%9 baxuago-, eta petrolioaren prezioa argiro garestituz, 52 dolarreraino upeleko.

IEAren zibogaren azken arraukadaren berri, 2006ko azaroan jaso genuen, 2006ko World Energy Outlook txostenaren bitartez⁹⁶. Azken urteotako ildoari jarraiki, Agentziak 2006an zabalduko mezua aurrekoa baino larriagoa da. Honetan, IEAren aburuz, munduak “energia mehatxu bikoitza” dauka aurrean. Alde batetik, “energia hornidura egokia, berrmatuta eta prezio onargarrian ez izateko mehatxua”; bestetik, “gehiegizko kontsumotik eratorritako kalteak ingurumenean”. Azken txostenaren aurkezpenean, Claude Mandil IEAren zuzendari exekutiboak “aurrean daukagun etorkizuna, egungo joera mantenduz gero, zikin, hauskor eta garestia izango” dela esan zuen. Lehenengo aldiz, agentziak ofizialki onartzen du etorkizunean energia hornidura egokia ez izateko arrisku larria dagoela. Kriaren jatorria, “inbertsio gutxian, ingurugiro-hondamendi batean edo hidrokarburoen hornikuntzaren bat-bateko eten batean” legoke. Agentziak 2030 urtera arteko beharrezko inbertsioa energia sektorean 20,2 bilioi dolarretan balioesten du, 2005ean baino 3,2 bilioi gehiago. Txostenak, “erregai fosilen eskaeraren hazkundera moteltzeko beharra, inoiz baino premiazkoagoa” dela aldarrikatzen du.

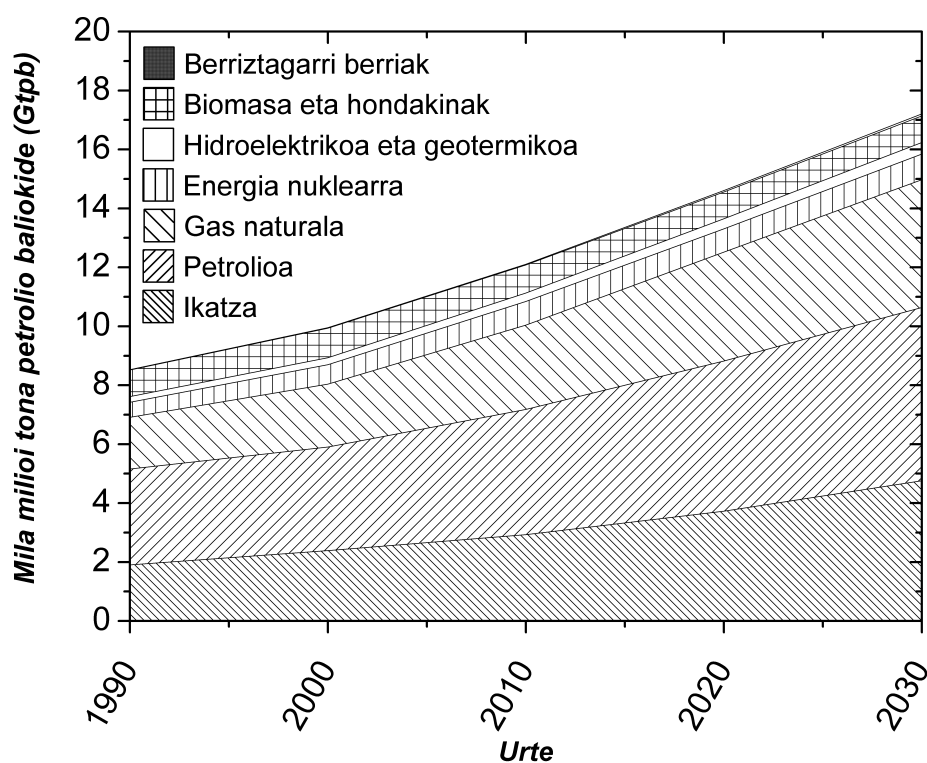
Etorkizunak argituko digu gizateriak norantz joko duen, baina kezkatzeko moduko arrazoiak, egon, badaudela dirudi, baita Nazioarteko Energia Agentziako adituentzat ere.

WETOren aurreikuspenak

Europako Batasunak “World energy, technology and climate policy outlook 2030” txostena

96 “La Agencia Internacional de la Energía avisa de una “doble amenaza” energética mundial”, in *Expansión*, <<http://www.expansion.com>>, eta International Energy Agency, *World Energy Outlook 2006. Summary and Conclusions*, 2006.

bultzatu zuen, 2003an⁹⁷. Azterlan horren helburua, datozen hiru hamarkadetako energia, teknologia eta ingurumenaren joera nagusiak aztertzeko esparru koherente bat eskaintzea zen; energiaren arloko hainbat erakunde eta akademikoz osatutako partzuergo batek landuta, “business and technical change as usual” izeneko ikuspegiko eszenatoki kontserbadore bat eskaintzen digu, *POLES* izeneko munduko energia sektorearen simulazio-eredua⁹⁸ erabiliz.



18. irudia. Munduko energia kontsumoaren aurreikuspena, 2030 urteraino (Itur.: WETO).

Orokorrean, WETOren aurreikuspen nagusiak, IEAk bere erreferentziako eszenatokian -non eta egungo joera sozioekonomiko nagusiek beren horretan jarraituko luketen-

97 *World energy technology and climate policy outlook 2030 - WETO* -, Luxembourg , 2003.

98 <http://web.upmf-grenoble.fr/iepe/textes/POLES8p_01.pdf>

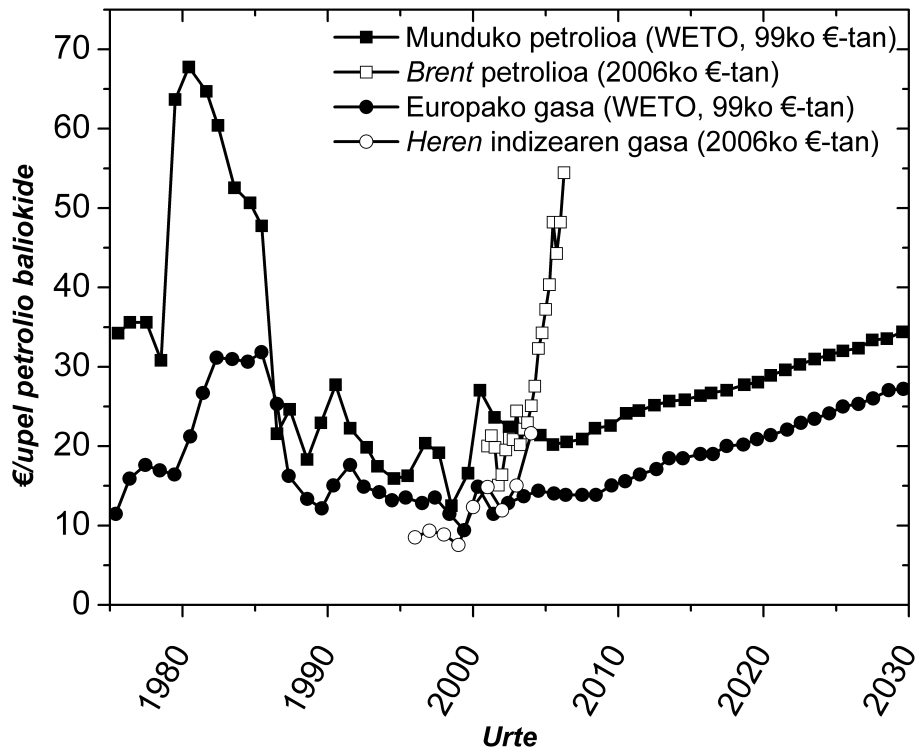
ondorioztatutakoen ildotik lerrokatzen dira. Energia kontsumo orokorrari dagokionez, 2030 urtera arte, kontsumo primarioaren batez besteko urteko gehikuntza %1,8koa izango litzateke, 17,2 Gtpb-raino heldu arte, IEAren aurreikuspenean baino 0,9 Gtpb gehiago. Energia elektrikoaren kontsumoaren batez besteko hazkundera, berriz, %3koa litzateke. 18. irudian, mundu mailako kontsumoaren bilakaeraren aurreikuspenak erakusten dira, energia iturriak bereizita.

Ikusten denez, 2030an kontsumoa erregai fosilen mendean legoke, haien kontsumoa ia osoaren %90 izango bailitzateke.

Beste behin, ikatz-aroaren gainbehera ezeztatzen da: mineralaren kontsumoak tinkotasunez hazten jarraituko luke. Energia nuklearraren ekarpena %5 eta %7 artean mantenduko litzateke, eta energia berriztagarrien ekarpena %15aren azpitik -energia hidroelektrikoa, biomasatik ateratakoa eta energia berriztagarri berriak-. Izan ere, azken horien ekarpena, berriztagarri berriena -eoliko, fotovoltaiko eta hidroelektriko txikia-, ia ez da agertzen 18. irudian, hura 0,073 Gtpb izango bailitzateke 2030ean.

Hornikuntzaren aldetik, txostenaren arabera, erregai fosilen erreserbak nahikoak izango dira 2030 arte. Ezbairik gabe, arazorik ez, eta ez bakarrik ikatzekoei dagokienez, baizik eta gas natural eta petroliokoei dagokienez ere: 2030an, petrolioaren kontsumoa 120 milioi upel eguneko izango litzateke, petrolio upelak 35 €-ko prezioa izanez. Hala ere, simulazio-ereduak birdoitzeren bat beharko duela dirudi, zeren, petrolio eta gasaren salneurrien bilakaerak, azken urteotan, ezerezean usten baititu WETOk egindako prezioen aurreikuspen nagusi batzuk, 19. irudian bertan ikus daitekeenez. WETOren arabera, petrolio upelaren prezioa 20 €-ren azpitik mantenduko litzateke 2020ra arte. Hala ere,

egun, prezioa 50 eta 70 € artean dabil. Hortaz, ez dugu ekonomialari oso finak izan behar konturatzeko kontsumoaren aurreikuspenen berrikustekak, nahitaez, beherantz izan beharko duela, berandu baino lehen.



19. irudia. WETO txostenak egindako petrolio eta gas naturalaren salneurrien aurreikuspenak 2030 urtera arte, eta azken urteotako benetako bilakaera (Itur.: WETO eta BP).

Petrolioaren salneurriak 2006ko udan ia 80 dolarreko mugara heldu ondoren, udazkenean behera jo zuen berriro, 2007ko urtarrilean 55 dolar azpitik kokatu arte. Askoren ustez, salneurriaren %30eko beherakada horrek argi uzten du petrolioaren gorabeheren atzean dagoena, haren agorpena baino, espekulazioa alde batetik eta bestetik ekoizpen eta

eskariaren arteko behin-behineko bat ez etortze soilak direla; azken batean, merkatuek era oso eraginkorrean kudeatzen ondo baino hobeto dakiten fenomenoak, informazio egokia eskuragarri daukatenean. Hala ere, 2007ko udaren atarian, petrolioaren prezioak 70 dolarrera jo du berriro. Askoren ustez, gertatzen ari denak petrolioaren ekoizpen gorenaren ondokoa baino ez du iragartzen. C. Campbell-en hitzak erabiliz⁹⁹, “prezioaren gorakada – atzeraldi ekonomiko – prezioaren kolapso – ekonomiaren indarberritze - prezioaren gorakadaz osatutako sorgin-gurpila” daukagu aurrean. Aldi berean, beste behin, urte amaieran Errusiaren eta Sobiet Batasuneko kide ohien arteko “gasaren gerra” deiturikoaren beste kapitulu bat pairatu dugu Europan. 2006an Ukrainarekin gertatu legez, 2007an Bielorrusiarekin sortu da gasaren salneurriaren gaineko gatazka, baina beti emaitza berberarekin: Europaraino heldu behar duen erregai hornikuntzaren eteteko mehatxua, zeinak agerian uzten duen EBko erregaiekiko mendekotasuna.

99 “778. Signs of recession”, *in* ASPO Newsletter #73, 4. or.

5. ENERGIA BERRIZTAGARRIEN ANALISIA

Energia berriztagarrien egungo egoera azaltzea, benetan korapilatsua eta konplexua da, oso. Hainbat arrazoik eragozten dute analisia. Handiena, energia berriztagarrien errealitate oso anitza litzateke. Energia berriztagarrien barruan, ezaugarri guztiz desberdinekoak aurkituko ditugu, zentzu askotan.

Zein sorkuntza motatan arreta jartzen dugun, atera ditzakegun ondorioek bide guztiz desberdinetatik eramango gaituzte. Horrek, askotan, gaizki-ulertu ugari eta larriak sortzen ditu. Adibidez, orokorrean, energia berriztagarrien balizko mugatasunaren ideia oso zabalduta dago. Haatik, bigarren kapituluaren amaieran ikusi dugunez, energia berriztagarrien ekarpena, gizateriak kontsumitzen duen energia primarioaren %11 baino gehiagotan dago balioetsita. Gutxi izan arren, ezin esan hutsala denik¹⁰⁰. Horren barruan ia guztia -energia primarioaren %10- *ohizko biomasa* deritzoguna da, egurra, munduko gehiengo zabal eta txiro batentzat energia baliabide bakarra dena. Beste fluxu berriztagarriek, *berriztagarri berriak* deritzegunek, ekarpen askoz apalagoak egiten dituzte nahastura energetikoan. Hori litzateke energia fotovoltaikoaren kasua, itsasoetatik ateratakoa edo termoelektrokoarena, zeinen ekarpena, egun beste fluxu energetiko batzuekin alderatuta, bati baino gehiagori ia hutsaren hurrengoa irudituko zaion.

Teknologikoki ere, energia berriztagarrien aniztasuna izugarria da. Alde batetik egurra, eta bestetik sateliteak eta espazioko ibilgailuak elikatzen dituzten panel fotovoltaikoak.

100 Hala eta guztiz ere, beste behin gogoratu behar dugu kontabilitate energetiko gehienetan ez dela kontuan hartzen gizateriarentzat garrantzitsuena den fluxu energetikoa: gure planetan, klima egoki batean mantentzen duen Eguzkiarena. Fluxu horrek, ezberrik gabe, milaka aldiz biderkatzen du desegokiro izendatzen dugun energia -komertzial- primarioa.

Sorkuntza mota batzuetan, kontrasteak egundokoak dira. Haize errotak orain dela mende askotako tramankuluak izanik, zer dela eta haien ugaltzea berriro, egurrezko piezak altzairuzkoekin ordezkaturata? Haizearen erabilera itsas garraioan ez zen ba, aitzineko kontua? Askotan, badirudi berriztagarrien bultzatzeak iraganera itzultzea ekarriko lukeela.

Sorkuntza motaren aldetik -hau da, energia bektorea- desberdintasun nabarmenak aurkituko ditugu. Alde batetik, garrantzitsua da elektrizitate berriztagarria, aerosorgailu eoliko, zelula fotovoltaiko, zentral termoelektro edota presa hidroelektrokoek sortua. Sorkuntza mota horiek, energia, era oso erabilgarri baten moduan hornitzen dute: elektrizitatea; gainera, haien energia-katea nahiko laburra da, eta horrexegatik nahiko efizientea. Baina atzemandako fluxu berriztagarri guztiak ez dira elektrizitate bihurtzen. Energia geotermiko eta fototermikoak, adibidez, zuzen-zuzenean erabil dezakegun beroa hornitzen digute; laborantza energetikoetatik ateratako bioerregaiak, berriz, gasolina eta gasolioaren ordezeko zuzenak dira.

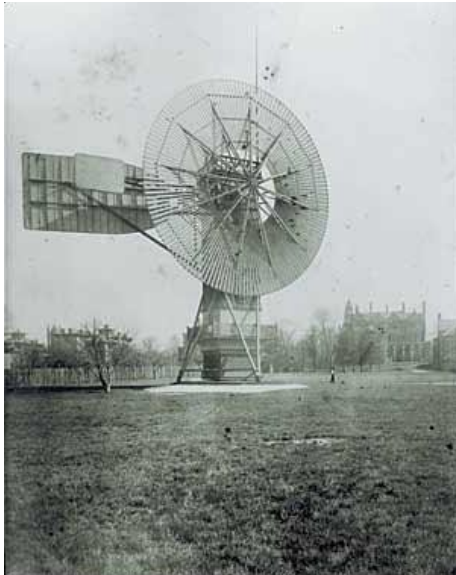
Jeneralean, energia berriztagarriei buruz aritzean, guztiak sartzen dira zaku berean, kontuan hartu barik haien aniztasun izugarria. Kapitulu honetan, aniztasun hori azaleratzen, azaltzen eta zehazten saiatuko gara.

Energia eolika

Energia eolikoaren hazkundera, izugarria izan da azken urteotan. 2005 urtean, munduko merkatu eolika %43 hazi zen¹⁰¹, 11,77 GW-eko potentzia instalatu eta gero. Urte beraren amaieran, mundu osoan zehar instalatutako potentzia eolika ia 60 GW arte heldu zen. Aerosorgailuen ia heren bat (%31, 18,4 GW) Alemanian zegoen, eta Espainian 10 GW-

101 *El mercado eólico mundial creció un 43% en 2005*, Energías Renovables aldizkaria, 2006ko martxoa, 6. or.

eko potentzia (%16,9).



20. irudia. Charles Brush ingeniariak egindako aerosorgailua,

1887an, Cleveland-en (Ohio, AEB)

(Itur.: Charles F. Brush Special Collection,

Case Western Reserve Unibertsitatearen kortesia).

Sorkuntza eolikoaren teknologia oso heldua da. Lehenengo aerosorgailua instalatu zenetik, ia 120 urte pasatu dira. Charles Brush AEBetako ingeniariak diseinatu eta instalatu zuen, bere etxe ondoan, 12 kW-eko lehenengo aerosorgailu erraldoia -144 hegal zituen, eta errotorearen diametroa 17 metro zen-, 20 urtez ederki funtzionatuko zena. Lehenengo prototipo horrek sortutako elektrizitatea, baterietan gordetzen zen. Askoz beranduago, 1933an, lehenengo aldiz konektatu zen aerosorgailu bat sare elektrikora. Krimean gertatu zen, orduan Sobiet Batasunean, eta 100 kW-ekoa zen. Ordutik aurrera, gure artean ohikoa den bi edo hiru hegalen diseinua erabiltzen da, sare elektrikora konektatuta.

Dispositibo hauen funtsa erraza da. Aerosorgailuak haizearen energia zinetikoa energia mekaniko bihurtzen du, hegalen biraketa-mugimenduaren bitartez. Motor eta sorgailu elektrikoak agertu baino lehen, energia mekanikoa zuzenean erabiltzen zen makineria mugiarazteko, aitzineko haize-errotetan gertatzen zen moduan. Egun, kasu gehienetan sorgailu baten bitartez energia mekanikoa energia elektriko bihurtzen da. Sortutako energiaren ezaugarriak haizearen abiadura eta hegalen biraketa-abiaduraren mendean daude, eta aerosorgailuaren sistema elektronikoek egokitzen dute elektrizitatea, sare elektrikora injektatzeko moduan izan dadin. Aerosorgailuen gehieneko efizientzia %50-en bueltan dabil, hau da, haizearen energia zinetikoaren erdia bihurtzen dute, kasu onenean, energia elektriko.

Hala ere, aerosorgailuen erabilera ez da ugaltu XX. mendearen azken hamarkadara arte. Azken urteotan, heldutasun teknologikoak -motorren mekanika eta elektronika bikaina, hegalen diseinu aerodinamiko itzela, eta guztiaren gainetik sistema osoaren fidagarritasun altu-altua-, sare elektrikoaren sartze masiboa ahalbidetu du.

Heldutasun teknologikoak, kostu murrizketa nabarmenak ere ahalbidetu ditu azken urteotan, egun, elektrizitate eolikoa merkatu elektrikoetan lehiakorra izan arte. Espainian, adibidez, 2005ean haren batez besteko kostua 8,3 cent/kWh zen, elektrizitate arruntaren batez besteko prezioa 6,7 cent/kWh zen une berean¹⁰².

Badago beste arrazoi garrantzitsu bat sorkuntza eolikoaren ugaltzea azaltzeko: sorkuntza mota honen ustiapen eredua oso aproposa da energia alorreko enpresa eta korporazio handientzat. Uler daitekeenez, sorkuntza elektrikoan murgilduta dauden enpresa

102 *Boletín Estadístico de Energía Eléctrica*, Red Eléctrica de España, 2005eko abendua, 91. zenbakia, 1 eta 8. or.

erraldioentzat, tamaina oso handiko instalazioak errazten dituzten teknologiak dira interesgarriak, bakarrik, eta sistema eolikoaren potentzia nahiko handia izan daiteke -beste berriztagarri gehienek sistemekin konparatuta, askoz handiagoa-. Aerosorgailuak era oso modular batean biltzen dira parke eolikoetan, megawatt askotako potentziak parke bakar batean metatuz. Sektore elektrikoaren korporazio askok, sorkuntza elektrikoaren dibertsifikatzea bilatu behar izan dutenean, apustu sendoa egin dute eolikoaren alde.

Azken hamarkadan, instalatutako aerosorgailuen potentzia handiagotzen joan da, modu jarraituan. Egun, lur eremuetan eraikitzen ari diren parke eoliko gehienetan 800 kW eta 2 MW bitarteko potentziako haize-turbinak aurkituko ditugu, eremuaren ezaugarri eta beharren arabera. Lur eremuetan eraikitako parke eolikoek *on-shore* izena hartzen dute, itsas eremuetan eraikitakoak, berriz, *off-shore* deituak dira. Azken parke eoliko horietan normalean erabilitako haize-turbinak potentzia handiagokoak dira, 2 MW-etik 5 MW-etaraino tartea gainditu arte.

Itsas eremuetako parkeetan ari dira instalatzen egungo aerosorgailu handienak. Haietako adibide bat, 21. irudian erakusten da: REpower korporazioak egindako REpower 5M modeloa, zeinak 5 megawatteko potentzia garatzen duen. 15. taulan laburbiltzen dira aerosorgailu honen ezaugarri nagusiak. Irudian ikusten denez, egitura hauek izugarriak dira. 400 tona baino gehiagoko ardatz-kutxa, 100 metro baino gehiagoko altuera batean kokatzen da, dorrearen gainean. Kutxa barruan, sorgailu elektrikoa, sistema elektronikoak, eta hegalek eusten dituen errotorea, makineriarekin batera. Hegalek erraztatzen duten eremuaren diametroa 126 metro da. Erraztatze eremua handitzean, potentzia maximoa ere handitzen da. Horretarako, errotorea igo behar da, beharrezkoa baita hegalek luzera handituz gero; gainera, orokorki, haizearen abiadura handitzen da altuerarekin batera.

***Azken belaunaldiko
aerosorgailuen ezaugarriak***

Gehieneko potentzia	5 MW
Hegalek erraztatzen duten eremuaren diametroa	126 m
Hegal bakoitzaren luzera	61,5 m
Ardatzaren altuera	90-120 m
Ardatz-kutxaren pisua	415 tona

15. taula. REpower 5M aerosorgailuaren ezaugarri nagusiak.



21. irudia. REpower 5M. Alemanian, 2005
(Itur.: REpower Systems-en kortesia, copyright REpower Systems).

Haize-turbinen potentziak haizearen abiadurarekiko dependentzia nabaria erakusten du. Haizearen abiadura jakin baten azpitik, aerosorgailuaren hegalek ez dute bira egiten (2-3 m/s). Gehieneko potentzia, haizearen abiadura tarte jakin batean ematen du (12-30 m/s), eta haizearen abiadura altuegia bada, hegalak blokeatzen dira (25-30 m/s baino gehiago), ez apurtzeko. Funtzionamendu idealean, aerosorgailuaren potentzia haizearen abiaduraren kuboarekin aldatzen da; hau da, une jakin batean abiadura %90era txikiagotzen bada, potentzia %73ra murrizten da ($0,9^3$). Abiadura %80ra moteltzen bada, potentzia ia erdiraino jaisten da ($0,8^3$). Horrexegatik, oso garrantzitsua da parke eolikoaren kokapena oso ondo aukeratzea, non eta haizeak abiadura altukoak izango diren, eta ahalik eta egonkorrenak. Azken urteotan, gero eta gehiago ari dira ugaltzen itsas eremuko parke eolikoaren proiektuak. Dirudienez, itsasoan haizea indartsuagoa izateaz gain, askoz egonkorragoa ere bada, horrela sorkuntza eolikoaren produktibitatea eta planifikazioa nabarmen erraztuz.

Etorkizunera begira, energia eolikoan berrikuntza garrantzitsuenak itsasotik etorriko dira. Lur eremuko kokapen onenak okupatuta daude dagoeneko, herrialde askotan. Hala izanda, proiektu berrien kokapenatarako, gero eta gehiago hartuko dira kontuan kostaldetik hurbileko eremuak, non eta, ziur aski, gero eta potentzia handiagoko aerosorgailuak instalatuko diren -10 MW arte helduko ote dira?-. *Off-shore* mota honetako adibide ezagunenetariko bat, Horns Rev-eko parke eolikoa dugu, jarraian ikertuko duguna.

Horns Rev-eko parke eolikoa Danimarkako itsasoan dago, kostaldetik 14-20 km-tara. Parke eolikoa, 2002ko udan instalatutako 80 aerosorgailuz osatuta dago. Lehenengo haize turbina, urte horretako uztailaren amaieran hasi zen energia elektrikoa sare elektrikora injeztatzen. Aerosorgailuen eremua hain da handia, zeren espaziotik ikus baitaiteke¹⁰³. Erabilitako aerosorgailuak Vestas V80 modelokoak dira, 2 MW-eko potentzia banarekin. Ardatza 70 metroko altueran kokatzen da, 440 tonako kutxa baten barruan. Hala ere, ezaugarri interesgarrienak parke osoari dagozkionak dira: parkearen azalera -20 km karratu- eta potentzia osoa -160 MW- kontuan hartuta, potentzia dentsitatea 8 W/m^2 da. Karga faktorea, berriz, nahiko altua da: %43, Espainiako sorkuntza eolikoaren batez besteko karga faktorea %25,3 delarik -6. taulan aurkeztu genuena-. Aldea, Horns Rev-eko parkea *off-shore* izatean datza, haize egonkorragoekin, Espainiakoak *on-shore* motakoak baitira.

Itsas eremuetan instala daitekeen potentzia oso handia da. Danimarkak, 2030erako, 5 GW instalatuta izatea aurreikusten du. Hala ere, itsasoan, potentzia dentsitatea nahiko apala da. Horns Rev-eko parkean, 8 W/m^2 , haizeak abiadura maximoan dabilenean. Konparazio

103 Horns Rev-eko parkearen radar irudi bat, 2002an Europako Energia Agentziaren ERS-2 satelitearen bidez 785 km-ko altueratik aterata, honako helbide honetan ikus daiteke:
<http://www.hornsrev.dk/Engelsk/nyheder/nyh_aug_02/uk-radar.htm>

moduan, gogora dezagun Eguzkiak, eguerdian 1 kW/m^2 ematen duela. Hortik, potentzia handiak lortzeko, eremu beharra oso altua dela ondorioztatzen da. Hala ere, printzipioz, itsasoan eremu zabal-zabalak daude eskuragarri, kostaldetik hurbil, haize-turbinak instalatzeko.

***Horns Rev-eko
parke eolikoaren ezaugarriak***

Aerosorgailuak	Vestas V80
Potentzia	2 MW (160 MW)
Hegalek erraztatzen duten eremuaren diametroa	80 m
Ardatzaren altuera	70 m
Ardatz-kutxaren pisua	440 tona
Parkearen azalera	20 km^2
Karga faktorea	%43
Potentzia dentsitatea	8 W/m^2

17. taula. Horns Rev-eko parke eolikoaren ezaugarri nagusiak (Itur.: DONG Energy).



22. irudia. Horns Rev-eko parke eolikoa (Danimarka)
(Itur.: DONG Energy konpainiaren kortesia).

Gainera, sorkuntza eolikoaren parkeak oso modularrak dira. Askotan gertatzen den

bezala, parkeak handituz joaten dira, faseetan, aerosorgailu gehiago instalatzen diren heinean. Noraino hel daiteke aerosorgailu bakoitzaren tamaina? Lehenago esan dugunez, altuera handitzean, haizearen abiadura ere handitzen da. Diametroarekin ere, atera daitekeen potentzia handitzen da. Ziur aski, hegal eta sistema elektromekanikoaren kutxaren garraioak jarriko du tamainaren muga.

Energia berriztagarriei buruz ari garenean, badago beste kontzeptu oso garrantzitsu bat, sorkuntza berriztagarriaren bideragarritasuna islatzen duena. Kontzeptu hori, *energiaren itzultze-denbora* (*Energy Pay Back Time*, EPBT) da: energia-sistema batek, bera egiteko erabili zen bezain beste energia ekoizteko beharko duen denbora, egoera arruntean funtzionatzen. Arlo honetan, energia eolikoak aurrerapen handiak egin ditu. Orain dela 25 urte energiaren itzultze-denbora urte oso bat baino gehiago zen; egun, berriz, bi eta hiru hilabete bitartekoa da. Hau da, funtzionamenduaren lehenengo bi hilabeteetan, aerosorgailuak bera egiteko behar zen bezain beste energia itzultzen du; hortik aurrera, 25-30 urteko bizitzan zehar, irabazi energetiko netoa ekoiztiko du. Beste modu batez esanda, aerosorgailu bakoitzak bere bizitzan zehar ehun aldiz baino gehiago biderkatuta itzultzen du bera egiteko behar zen energia. Sorkuntza eolikoaren energiaren itzultze-denbora nahiko baxua da, bereziki beste berriztagarri batzuen kasuarekin konparatzen bada, energia fotovoltaiakoarekin adibidez.

Sistema eolikoaren fidagarritasuna, hau da matxurak agertzeko probabilitate oso baxua, garrantzitsua da oso. Aerosorgailuek zati mugikorrek dauzkate, tentsio handiak jasango dituztenak. Hegalek pairatu beharko dituzten tentsio horiek saihestezinak dira, haizearen indarra eta hegalek mugimendua sorkuntza eolikoaren funtsean sartzen baitira. Matxurak saihesteko -bereziki itsas eremuetan dauden haize-turbinetan-, sistemen fidagarritasunak

oso altua izan behar du. Horrek, fabrikazio-prozesu oso zainduak eskatzen ditu. Adibidez, egungo 4,5 eta 5 MW bitarteko aerosorgailuen errotoe eta abatzaren galdaketan, hozte-prozesua sei astekoa izan daiteke, tentsio handienak pairatu beharko dituzten piezek ezaugarri fisiko eta mekaniko bikainak izan ditzaten¹⁰⁴. Eta arazoak noizean behin sortzen dira, bereziki teknologia berri hauen kasuetan, eta nahiko helduak izan arren. Horns Rev-eko parkearen kasuan, adibidez, 2004ko udan turbina guzti-guztiak desmuntatu eta lurrera eramane behar izan zituzten, sorgailu eta transformadoreen akatsak zirela eta¹⁰⁵. Hala ere, kontuan hartu behar dugu horrelako arazoak teknologia guztiak produkzioan txertatzen direnean sortzen direla; gainera, energia berriztagarrien kasu gehienetan, matxuren ondorioak beste teknologia askorenak baino arinagoak dira -energia nuklear edo petrolioaren itsas garraioarenak, kasu-.

Energia eolikoa, egun, guztiz bideragarria izanik, zenbat potentzia eoliko instala daiteke munduan? Lehenengo kapituluan esan genuenez, Eguzkitik jasotako energia fluxuaren %1 eta %3 bitartekoa bihurtzen da energia eoliko. Zenbateko itzel hori, 50 aldiz gehiago da planetan fotosintesiaren bitartez biomasa bihurtzen dena baino. Potentzia baliokidea 4,8 PW ($4,8 \times 10^{15}$ W) da: hamahiru mila aldiz munduan instalatuta dagoen potentzia nuklearra. Zenbateko itzela izan arren, kontuan hartu behar dugu bakarrik altuera baxuenetan dabilzan haizeak erabili ahal direla energia sortzeko -eta inoiz ez guztia, aldaketa klimatiko nabarmenik ez sortzeko-. Adituek, benetan eskuragarria dena zenbateko murrizagoetan balioesten dute: 120 TW-eko potentzia jarraitua, mundu osoan¹⁰⁶. Zenbateko horiek, batez beste, $2,4 \text{ W/m}^2$ -ko potentzia dentsitatea ematen dute, balizko sorkuntza eoliko masiborako. Lur eremuen %10 erabiliko balitz, aerosorgailuen

104 Eize de Vries, "Thinking bigger. Are there limits to turbine size?", in RENEWABLE ENERGY WORLD, 2005eko maiatz-ekaina, 42-55 or.

105 "Danish Wind Turbines Take Unfortunate Turn", in IEEE Spectrum, 2004ko azaroa, 14-15 or.

106 V. Smil. *Energies. An Illustrated Guide to the Biosphere and Civilitation*, 1999, 14. or.

bitartez, energia elektrikoa sortzeko, 3 eta 4 terawatt arteko potentzia lortuko genuke. Munduko potentzia nuklearra 0,4 terawatt denez, aise ondorioztatzen da energia eolikoaren potentzialtasuna oso handia dela. Hala ere, oso kontuan hartzekoa da beharrezko eremua: planetaren lur eremu guztien hamarren bat.

***Energia eolikoaren potentzialtasuna,
mundu mailan***

Gehieneko potentzia erabilgarria	120 TW
Potentzia dentsitatea	2,4 W/m ²
Lurraren %10 erabiltzen bada	3-4 TW
<i>Potentzia nuklearra munduan</i>	<i>0,4 TW</i>

***Hego Euskal Herrian
(Greenpeace-en txostena)***

Gehieneko potentzia	24,7 GW
Karga faktorea	%30
Potentzia dentsitatea	3,2 W/m ²
<i>Beharrezko eremua</i>	<i>%46</i>

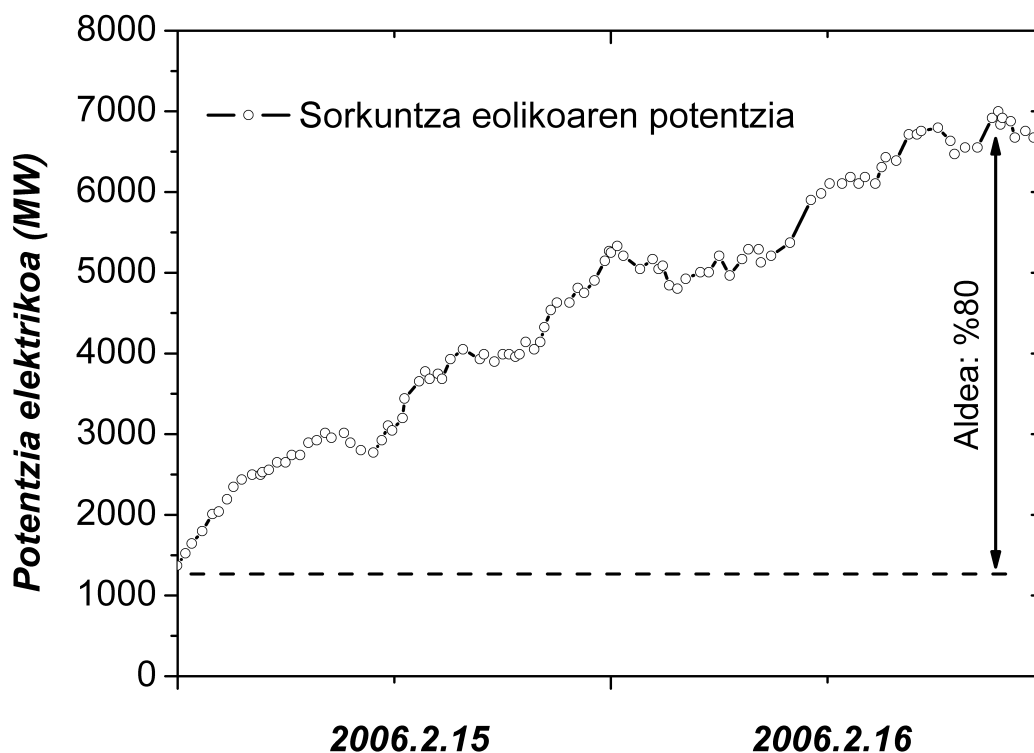
18. taula. Energia eolikoaren potentzialtasuna, munduan eta Hego Euskal Herrian (Itur: V. Smil eta Greenpeace)

Euskal Herriari dagokionez, Greenpeace erakundeak berriki plazaratutako txosten batean agertzen dira Hego Euskal Herriko potentzialtasunak¹⁰⁷. Kasu honetan ere, aise gainditzen dira egungo sorkuntza elektrikoaren beharrak. Txostenaren egileei kasu eginez gero, Euskal Autonomia Erkidegoan eta Nafarroako Foru Erkidegoan instala daitekeen gehieneko potentzia eolikoa 24,7 GW da. Sorkuntzarako emandako datuak, zentzuzkoak dira: batez besteko karga faktorea %30-en bueltan legoke, eta potentzia dentsitatea 3,2 W/m². Hala ere, potentzia osoa garatzeko beharrezkoa izango litzatekeen eremua

107 *Renovables 2050. Un informe sobre el potencial de las energías renovables en la España peninsular*, Greenpeace, 2005, 144-172 or.

izugarria da: hego Euskal Herriko eremu osoaren %46. Hori, gainera, kontuan hartu barik Bizkaia eta Gipuzkoako itsas eremuetan *off-shore* motako parke handiak instalatuko liratekeela, zeinen azalera ez diren kontuan hartzen. Energia eolikoaren ahaltasuna handia da, baina beharrezkoa den eremua ere oso handia da!

Hala ere, epe motzean, muga garrantzitsuenak ez zaizkio etorriko energia eolikoari eremu beharren bidetik. Energia eolikoaren muga inportanteenak haren izaera guztiz aldakorrarekin daude lotuta, eta horrek sortzen dituen arazoekin, sorkuntza eolika egungo sare elektrikoaren barnean txertatu behar denean.



23. irudia. Sorkuntza eolika Espainian, 2006ko otsailaren 15 eta 16an (Itur: REE).

2006ko otsailaren 16an, Espainian, ordura arte gehieneko sorkuntza eolika gertatu zen:

7 GW. Alabaina, 23. irudian ikusten denez, aurreko egunean, otsailaren 15ean, sorkuntza eolikoa 1,5 GW-ekoa izan zen. Ordu gutxian, sorkuntza eolikoa zazpi aldiz biderkatu zen. 3. irudian ere ikus daiteke energia eolikoaren aldakortasun nabariaren isla -han, aste oso bateko sorkuntza eolikoa erakusten zen-. Asteazkenean sorkuntza ia 4 GW-ekoa zen, baina aurreko larunbatean sorkuntza ez zen iristen 0,26 GW-era.

Energia eolikoaren ekoizpena nahiko aldakorra da, eta askoz larriagoa dena, aldaketak aurreikusenak dira, hein handi batean. Haize-abiaduraren iragarpenak, egun, 1-3 ordu barrukoak dira. Gure inguruko ikerketa taldeak, 24 ordu barruko iragarpenetan ari dira lanean. Hurrengo egunerako iragarpenak, zantzu guztien arabera, ez dira posible izango 10 urte barrura arte¹⁰⁸. Ekoizpen eolikoa hain aldakorra denez, ekoizpen elektriko osoaren zati bat baino ezin da izan. Alemanian, 2015erako, sorkuntza elektriko osoaren %14an jarri dute muga.

Non dago energia eolikoaren penetrazio muga, sare elektrikoaren barruan? Batzuek Danimarkako kasua, adibidez, ekarriko dute gogora, non energia eolikoaren sare-penetrazioa %20 baino gehiago den orain, 2010ean %30 eta 2030ean %50 izateko aurreikuspenarekin batera. Hala ere, sare elektrikoan energia eolikoaren penetrazioari buruz ari garenean, oso kontuan hartzekoa da sare horren *interkonektibitatea*.

Energia elektrikoa oso modu erraz batean garraiatzen da, goi-tentsioko linea elektrikoen bidez, galera txikirekin: garraio elektrikoaren efizientzia %80-90ekoa da. Horrela, posible da puntu batean gertatzen den eskaera elektrikoa handik urrun sortutako energia elektrikoarekin asetzea. Sorkuntza eta kontsumoko lekuen arteko distantzia oso luzea izan

108 Thomas Ackermann, "Joined up thinking. Grid-integration in Germany", in RENEWABLE ENERGY WORLD, 2005eko uztail-abuztua, 158-169 or.

daiteke. Frantzian, adibidez, hainbat zentral nuklearretan sortutako energia elektrikoaren soberakinak gertatzea ohikoa da, eta inguruko Estatuetan saltzen da soberan geratzen den energia elektrikoa: Espainian, Alemanian, eta abar. Hala ere, horrek Estatu desberdinen sare elektrikoaren arteko interkonektibitatea eskatzen du, energia elektrikoa sare nazional batetik beste batera pasatzeko. European estatu gehieneko sare elektrikoak estatu barruko esparruan garatutako konpainia elektrikoaren bitartez garatu direnez, estatu bakoitzeko barruko interkonektibitatea oso altua da; estatuen artekoa, berriz, nahiko kaskarra. 2002an, Europako Kontseiluak %10eko interkonektibitatea ezarri zuen helburutzat Europa osorako. Hala ere, bilakaera ez da batere behar bezalakoa izan¹⁰⁹. Bereziki larria omen da Irlanda eta Malta uharteen eta estatu baltikoen egoera isolatua, eta Espainia eta Frantziaren arteko interkonektibitate oso mugatua.

Danimarkan, aldiz, beste herrialdeetako sareekiko interkonektibitatea oso altua da, %18 -nagusiki Alemania eta Eskandinaviako herrialdeekin-, eta horrek nabarmen ahalbidetzen ditu energia eolikoaren penetrazio altuagoak. Interkonektibitatea oso altua denean, sorkuntza eolikoak eskatzen dena baino energia gehiago denean, soberakina esportatzen da; modu berean, sorkuntza eolikoak baxuegia bada, interkonektibitate altuaren bidez sareak inportatu ahal du energia elektrikoaren eskasia. Espainian, Frantziarekiko interkonektibitatea %3 baino ez da¹¹⁰.

Nafarroa Garaian, egun 31 parke eoliko daude. Haiei esker -ia 1 GW-eko potentzia-, energia eolikoak Nafarroako elektrizitate kontsumoaren %48 estaltzen du. Penetrazioa, zentzu horretan, oso altua da. Baina Nafarroako sarearen interkonektibitatea oso altua da

109 *Liburu Berdea - Energia iraunkor, lehiakor eta seguruaren aldeko Europako estrategia*, COM(2006) 105, Brusela, 7. or.

110 "Integración de la energía eólica en la red. España es diferente", in *Energías Renovables* aldizkaria, 2003ko abendua, 21-23 or.

-osoa dela ez esateagatik-. Nafarroako sare elektrikoa, Espainiakoaren barnean guztiz txertatuta dago, eta hura gabe ez dago ulertzerik. Nafarroako energia elektrikoaren soberakinak Espainiako merkatura bideratzen dira, eta Nafarroako aerosorgailuak moteltzen direnean, Espainiako zentral termiko, hidroelektriko eta nuklearretan sortzen da han eskatutako energia elektrikoa.

Espainiako sare elektrikoaren nazioarteko interkonektibitatea nahiko baxua denez, haren barruko penetrazio eolikoa har daiteke sare osoaren egungo muga teknikotzat. 2010erako, Plan de energías renovables delakoak sorkuntza eolikoa 20 GW-etan balioesten du, egun sorkuntza osoa 70 GW baino gehiago izanik. Energia eolikoaren penetrazioa %50-etik urrun mantenduko da datorren hamarkadan, eta askoz posibleagoa da %30-en bueltan mantentzea, kasu onenean -edonola ere, fluxu berriztagarria dela kontuan hartuta, batere makala ez dena-.

Azken batean, energia eolikoaren arazoa zera da: aurreikusgaitza da, eta sorkuntza soberakinak -energia elektrikoa- gordetzea oso zaila. Batzuek, zirkuitu elektroniko kapazitibo erraldoiekin ari dira esperimentatzen, energia elektrikoa biltzeko (*Electronic Shock Absorber*, ESA). Hala ere, zirkuitu horiek elektrostatikoki bildutako energia elektrikoaren zenbatekoa oso mugatua da: kamioi trailer batean sartzen den sistemak, tamaina ertaineko parke eoliko batek 15 segundo eta minutu bat arteko sorkuntza baino ezin du ordezkatu¹¹¹. ESA bezalako sistemak oso garrantzitsuak eta gero eta erabilgarriagoak izango dira, sorkuntza eolikoaren oso epe motzeko aldaketei aurre egiteko, baita sare elektriko osoaren ezegonkortasunei irtenbide emateko, baina ez dirudi energia elektrikoaren biltze beharra hortik konponduko denik.

111 Karl Stahlkopf, "Taking Wind Mainstream", in IEEE Spectrum ONLINE, 2006ko ekaina.

Sorkuntza eolikoaren penetrazioa handitze aldera, irtenbide probableena herrialde desberdinen sare elektrikoaren arteko interkonektibitatearen hobekuntzatik etorriko da, ziur aski -elektrizitatea biltzeko hidrogenoaren sorkuntza momentuz alde batera utziko dugu, zeinaren bideragarritasun teknikoari 6. kapituluaren zati garrantzitsu bat eskainiko baitiogu-.

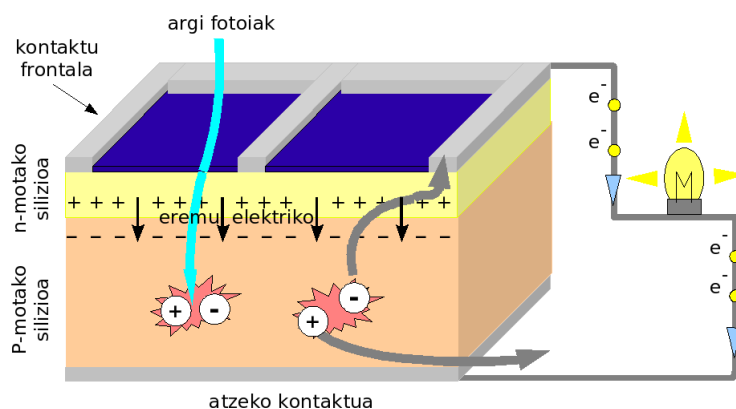
Alabaina, behar bezainbesteko interkonektibitate bat lortzeak ordain garrantzitsu eta gogorrek ekarriko lituzke. Alde batetik, azpiegituretan beharrezko inbertsioak handiak izango lirateke, nagusiki goi-tentsioko linea elektrikoetan. Bestetik, sare erraldoi horren barruko interdependentzia oso altua izanik, haren kudeaketa are eta gehiago zailduko litzateke, eta barruko ezegonkortasunak handitu, kontuan hartuta egungoak batzuetan jada menderaezin bilakatzen ari direla.

Energia fotovoltaikoa

Sistema fotovoltaikoak zelula fotovoltaikoz osatuta daude, eta haien funtzionamendua benetan zoragarria da. Zelula fotovoltaiko gehienak, silizio kristalinoz eginda daude. Silizioa material erdieroalea da, mikroelektronikan gehien erabiltzen dena -gure ordenagailuen muina osatzen duten mikroprozesadoreak, adibidez, silizioz eginda daude, funtsean zelula fotovoltaikoak egiteko erabiltzen diren fabrikazio-prozesu berberak erabiliz-.

Zelula fotovoltaikoetan energia elektrikoa sortzeko prozesua, fenomeno fotovoltaikoan datza. Fenomeno horren bitartez, Eguzkiaren argi-izpiak -fotoiak- energia elektriko bihurtzen dira, mugimendurik behar ez duen dispositibo elektroniko baten bitartez, energia-kate labur eta efizienteenetako bat osatuz.

Fotoiek, Eguzkian erreakzio termonuklearren bitartez askatutako energia garraiatzen dute, espazioan zehar. Fotoi bakoitzaren eduki energetikoa Eguzkiaren azalaren temperaturarekin dago lotuta, 6.000°C inguru. Fotoien energia, *elektronvolt*-etan (eV) neurtzen da¹¹². Eguzki-fotoi gehienek energia, 3,5 eV (izpi ultramoreak) eta 0,5 eV artekoa da (izpi infragorriak). Gehieneko erradiazio-potentzia 2,5 eV-etan gertatzen da, hain zuzen espektriko ikusgaiaren erdian igortzen diren hori koloreko izpiak. Eguzki-erradiazio osoaren potentzia, eguerdi garbi batean Lurraren azalean kilowatt bat metro karratuko da (1 kW/m^2).



24. irudia. Zelula fotovoltaiko baten diagrama.

Siliziozko zelula fotovoltaikoetan, fotoiak silizio barrura sartzen dira, silizioak fotoiak xurgatzen baititu. Zelularen bolumenean, siliziozko atomoak egitura kristalografiko zehatz baten arabera daude jarrita, oso ondo ordenatuta, atomoen azken geruzaren elektroiak atomo guztien artean partekatuz. Xurgatutako fotoiek, zelularen siliziozko atomoei eragiten diete, beren energia atomoen elektroiei emanez (ikus 24. irudia, zelula fotovoltaiko baten diagrama). Horrela, zelularen bolumenean fotoiek karga negatiboak (elektroiak) eta positiboak (hutsuneak) askatzen dituzte. Karga elektriko horiek dira eguzki-zelularen

112 Elektronvolta, energia unitate bat da: joule bat sei trilioi baino gehiago elektronvolt da ($1 \text{ J} = 6,24 \times 10^{18} \text{ eV}$).

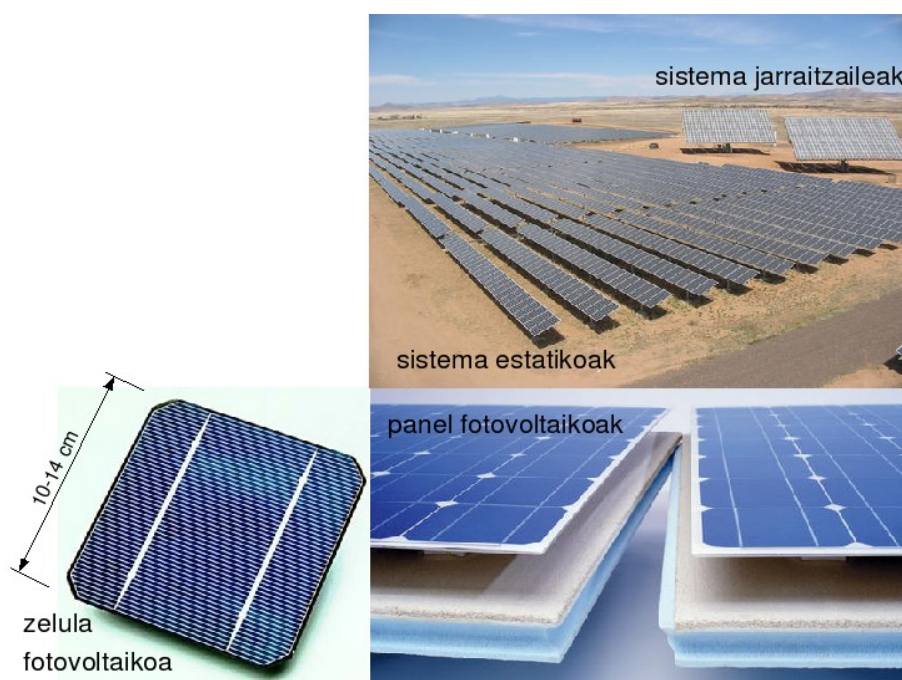
kanpoan korrante elektrikoa osatuko dutenak. Horretarako, beharrezkoa da sortutako karga elektrikoa zelulatik kanpora ateratzea. Horregatik, zelularen fabrikazio prozesuan, p- eta n-motako guneak sortzen dira. Haien junturak, egitura elektroniko oso ezaguna sortzen du, elektronikan *diodo* deritzoguna. Zelula fotovoltaikoaren diodo bakoitzak -zelula fotovoltaikoa, azken batean, diodo bat baino ez baita- sortutako eremu elektriko baten bitartez bi motako kargak -elektroiak eta hutsuneak- banantzen eta kontaktuetara bideratzen ditu. Horrela, kontaktuen artean, zuzeneko korrante elektriko bat sortzen da.

Silizioa ez da fenomeno fotovoltaikoa nozitzen duen material bakarra, ezta efizientzia hoberena erakusten duena ere. Beste material erdieroale batzuk ere, galio arseniuro -AsGa, laserrak egiteko erabiltzen dena-, silizio amorfoa, kadmio, selenio, indio eta antzeko elementu arraroak, erabiltzen dira, ere bai, zelula fotovoltaikoak egiteko. Material plastiko eta organiko batzuek ere fenomeno fotovoltaikoa nozitzen dute, eguzki-izpiak elektrizitate bihurtzeko gai izanik, eta haiengan itxaropen handiak daude jarrita, datozen belaunaldietako eguzki-zelulen teknologiak garatzeko¹¹³.

Zelula fotovoltaiko industrialak dispositibo mikroelektroniko handienetarikoak izan arren, haien tamaina eta potentzia oso txikiak dira: 200 zentimetro karratuko zelula fotovoltaiko batek 3 watt potentzia emango du, argiztapen eta polarizazio baldintza onenetan. Sistema fotovoltaikoak, baina, oso modularrak dira, eta tamaina txikiko zelulak seriean eta paraleloan konektatuz, panel fotovoltaikoak sortzen dira (ikus 25. irudia). Panel fotovoltaikoen azalera metro karratu bat da gutxi gorabehera, potentzia nominala (1 kW/m²-ko argiztapen baldintzetan neurtua) 100-200 watt inguru izanik -azalera eta zelulen efizientiaren arabera-. Etxetresna txikiak elikatzeke erabiltzen ditugun pila

113 Egungo teknologia fotovoltaikoen gaineko ikuspegi zabal eta sintetiko bat izateko, ikus *Basic Research Needs for Solar Energy Utilization*, Office of Science, U.S. Department of Energy, 2005eko apirila, 13-32 or. eta 187-198 or.

alkalinoekin gertatzen den moduan, panel fotovoltaikoetan tentsio elektrikoa handitzeko zelulak seriean konektatzen dira -bata bestearen aurrean-, eta korrante elektrikoa handitzeko paraleloan konektatzen dira -bata bestearen ondoan-. Zentzu horretan, ezaugarri industrialeko eguzki-zelula bakoitza 1 eta 3 arteko watt-eko pila bat moduan uler daiteke.



25. irudia. Panel eta sistema fotovoltaikoak (Itur.: DOE/NREL-en kortesia).

Hala ere, badago desberdintasun garrantzitsu bat pila alkalino eta zelula fotovoltaikoen funtzionamenduen artean. Pila alkalino baten konexio-borneen arteko tentsio aldea egonkorra da -normalean 1,5 volt-, pila agortu arte, eta tentsio hori ez dago pilak elikatzen duen zamaren kontsumoaren mendean. Eguzki-zelulen kasuan, berriz, zelulak ematen duen potentzia aldakorra da. Alde batetik, zelulak jasotzen duen argiztapenaren arabera izango da; bestetik, eta garrantzitsuena, zelularen efizientzia gehienekoa izango da hura

polarizazio zehatz batean dagoenean, hau da, zelularen korrante eta tentsio aldearen arteko erlazio zehatz bat gertatzen denean. Izan ere, erlazio hori egokia ez bada, gerta daiteke eguzki-zelulak energia netoa kontsumitzea!

Gainera, pila alkalinoekin gertatzen den modu berean, ezaugarri desberdineko zelulak panel batean serie eta paraleloan interkonektatzen direnean, ezaugarri txarreneko zelularen portaerarekin funtzionatzen dute zelula guztiek. Uler daitekeenez, hau guztia nabarmen zailtzen ditu panel eta sistema fotovoltaikoen diseinu, konfigurazio eta funtzionamendua. Horregatik, sistema fotovoltaikoetan, zelula fotovoltaikoak bezain garrantzitsua *BOS* deiturikoa da (*Balance of System*, sistemaren balantzea). Sistemaren balantzea deitzen diogu sistema fotovoltaikoan aurkituko dugun guztiari, panelak izan ezik. Osagai horien guztien kostua sistema osoaren erdia da, normalean, eta sistema osoaren mantentze-lan ia osoa eskatzen du. Sistemaren balantzearen barruan sartzen dira euskarria ematen duten egiturak, kable-sarea, etengailuak, segurtasun-elementuak, fusibleak, bateriak -baldin badaude-, eta inbertsoreak. Azken subsistema elektriko hauek dira, inbertsoreak hain zuzen, panel fotovoltaikoaren polarizazioaz arduratzen direnak, panel eta zama elektrikoaren arteko egokitzea eginez, baldintza onenetan lan egin dezaten.

Panel fotovoltaikoek korrante zuzeneko elektrizitatea hornitzen dute. Sistema fotovoltaikoek energia elektrikoa sare elektrikora isurtzen dutenean, hura sare komertzialaren korrante eta tentsio alfernoetara moldatu eta sinkronizatu behar dute. Horren ardura ere, inbertsoreen kontua da.

Sistema fotovoltaikoak, estatikoak izan daitezke. Izan ere, sistema fotovoltaikoen abantaila handia parte mugikorrik behar ez izatea da. Argiztapen baldintza onenak lortzeko, sistema

estatikoak hegoaldeari begira jartzen dira, 40 graduko inklinazio batekin -gutxi gorabehera, kokalekuaren latitudearen arabera-.

Hala ere, askotan, izpi gehiago jasotzeko eta beren errendimendua hobetzeko, sistema fotovoltaikoek Eguzkiaren mugimenduari jarraitzen diote, sistema jarraitzaileak sortuz. Panelei euskarria ematen duten egiturak, egunean zehar astiro-astiro biratzen dira, ekialdetik mendebalderantz.

Bestetik, sistema batzuetan, eguzki-zelulen gainean sistema optikoak moldatzen dira, zelula fotovoltaikoekin estalita dagoen sistemaren azaleraren ehuneko handi bat sistema optikoarekin ordezkaturik. Horrela, kontzentrazio-sistema deritzegunak sortzen dira. Printzipioz, ordezkatzeko prozesu hori errentagarria izan daiteke, zelula fotovoltaikoen kostu ekonomikoa sistema optikoarena baino handiagoa baita. Kontzentrazio-sistemek ere, Eguzkiaren mugimenduari jarraitu behar diote, atxikitako sistema optikoak irekidura optikoa murrizten baitu, beti. Hala ere, kontzentrazioa erabiltzeak ordain garrantzitsu bat dakar: kontzentrazio-sistemek, beti, zeru oskarbi behar dute, lainotuta dagoenean kontzentrazioaren abantailak murrizten baitira, irekidura optikoa askoz murriztagoa delako. Horrela izanik, lainotuta dagoenean haien efizientzia nabarmen murrizten da, sistema arrunten efizientzia baino askoz baxuagoa izateraino. Zeru oskarbiren behar horrek kontzentrazio sistemak erabilgaitz usten ditu zeru oskarbi urtean zehar egun askotan ziurtatuta ez badago; gainera, zailtasun handi bat gehitzen zaie kontzentrazio-sistema guztien energia ekoizpenaren aurreikuspenari: uler daitekeenez, askoz zailagoa da kokaleku baten oskarbi-tasuna aurreikustea, bakarrik eguzki-irradiazio mailarena baino. Horrela, aurreikuspenari dagokionez sistema hauek sistema eolikoekin pareka daitezke.

Energia fotovoltaikoaren kasuan, sistemen errendimendua kalkulatzeko guztiz funtsezkoa gertatzen da sistemaren kokalekuaren eguzki-irradiazioa eta klima kontuan hartzea. Uler daitekeenez, herrialde eguzkitsuetan sistemek energia elektriko gehiago emango dute beste herrialdeetan baino. Gurean, Energiaren Euskal Erakundeak bildu ditu EAEko klima eta eguzki-irradiazioari buruzko datuak¹¹⁴. Urteko eguzki-irradiazioa, orduetan neurtzen da. 365 eguneko urteak 8.760 ordu ditu. Eguzki-irradiazio ordu bat da Eguzkiak, ordu batean zehar eta baldintza hoberenean -hau da, eguerdi garbi batean Lurraren azalean 1 kW/m^2 emanenez-, ematen duena. Edozein lekutan, benetako irradiazio orduak -hau da, ilun ez dagoenean- beti izango dira erreferentziako eguzki-irradiazio orduak baino gehiago, hauek Eguzkiaren gehieneko potentzia kontuan hartuz kalkulatzeko baitira. Erreferentziako gehieneko potentzia (1 kW/m^2) estandarra eta ezaguna denez, kokaleku baten urteko eguzki-irradiazioa ezagututa eta orduetan neurtuta, zuzenean kalkula daiteke edozein sistemak han eman dezakeen energia elektrikoaren kopurua.

Eskuragarri dauden datuen arabera, EAE hiru eskualdeetan banatuta dago, eguzki-irradiazioari dagokionez. Irradiazio altuena, Arabako Errioxan jasotzen da: 2.200 ordu, urteko. Bitarteko eskualdean, Araban Laguardiatik Murgia eta Salvatierraraino zabaltzen dena, irradiazioa 1.700 eta 2.200 ordu bitartekoa da. Kostaldeko eskualdean, Murgia eta Salvatierratik itsasertzeraino, irradiazioa 1.500 eta 1.700 ordu artekoa da. Iparraldean eta Nafarroa Garaiko iparraldean irradiazioa tarte horretan ere kokatuko da, ziur aski, eta Nafarroako hegoaldean Arabakoaren antzekoa izango da. Erreferentzia moduan, Alemanian 900 eta 1.130 ordu artekoa da eguzki-irradiazioa, eta Iberiar Penintsularen hegoaldean 1.800 ordu inguru. Ikusten denez, beste leku batzuetan irradiazio gehiago izan arren, Euskal Herrian ere ez gabiltza eguzkiz batere eskas.

114 *Atlas de Radiación Solar del País Vasco*, Energiaren Euskal Erakundea, 1998ko uztaila.

Interneten bidez, Europako Batasunak suspertutako PVGIS tresna informatiko zoragarria dago eskuragarri¹¹⁵, zeinak eskualde baterako inklinazio hoberena, kokapenaren urteko eguzki-irradiazioa, tenperaturak eta abar jakitea ahalbidetzen duen.

Askotan, sistema fotovoltaikoak isolatuta daude, sare elektrikitik urrun. Izan ere, lehenengo aplikazio fotovoltaikoak sistema elektroniko isolatuak elikatzeko erabiltzen ziren. Haien artean, 60ko hamarkadan espaziora bidaltzen hasi ziren sateliteak eta sistema aeroespazialak aurkitzen dira, oso garrantzitsuak izan baitziren teknologia fotovoltaikoaren ikerketari bultzada indartsu bat emateko.

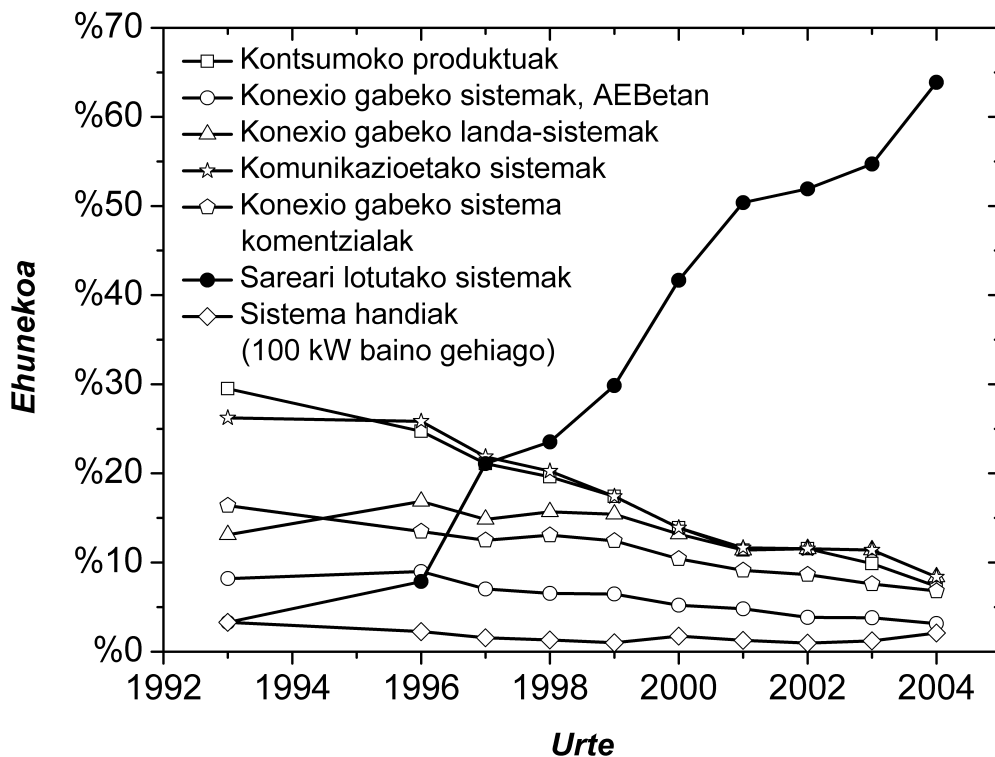
Eguzkia modu jarraituan eskuragarri ez dagoenez, sistema isolatuek bateriak dauzkate, energia elektrikoa biltzeko. Hala ere, gaur egungo merkatu fotovoltaikoan, aplikazio fotovoltaiko gehienak sare elektrikoarekin konektatuta daude (ikus 26. irudia). Bereziki deigarria izan da merkatu fotovoltaikoaren bilakaera azken hamabost urteotan¹¹⁶, eta teknologia fotovoltaikoaren garapen izugarriaren isla zuzena.

90eko hamarkadaren hasieran, telekomunikazioetako aplikazioak elikatzeko sistema -mendi tontorretan kokatutako errepikagailuak eta komunikazio estazioak, sateliteak eta abar- eta kontsumoko produktuen -eguzki-erloju eta kalkulagailu, kontsumo baxuko etxetresnak elikatzeko panel fotovoltaiko txiki eta abarren- azpisektoreek merkatuaren erdia baino gehiago eskatzen zuten. Egun, bakarrik hamar urte geroago, merkatua irauli egin da. Merkatuaren azpisektore garrantzitsuena -alde nabarmenarekin, gainera, munduko ekoizpenaren ia bi heren eramanez-, sare elektrikoarekin konektatutako

115 PVGIS: Geographical Assessment of Solar Energy Resource and Photovoltaic Technology, <<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps/radmonth.php?en=&europa=>>.

116 Paul Maycock, "PV market update. Global PV production continues to increase", in RENEWABLE ENERGY WORLD, 2005eko uztail-abuztua, 86-99 or.

sistemen da, zeinean orain dela ez hainbeste energia fotovoltaikoari lehiatzea guztiz ezinezkoa gertatuko zitzaiola pentsatzen zen. Egun, martxan dauden eta fabrikatu eta instalatzen ari diren sistema fotovoltaiko gehienak herrialde garatuetan daude, sortutako energia elektrikoa sare elektrikoan zuzen-zuzenean injektatzen. Sistema hauetan ez dago bateriarik, eta ekoizten den energia guztia sare elektrikoan injektatzen da. Egun, sistema hauek dira ohikoenak Europan, Japonian eta AEBetan. Askotan, sistemak eraikuntzetan integratzen dira, teilatu eta hormetan.



26. irudia. Munduko ekoizpen fotovoltaikoaren bilakaera, sektoreka.

2005ean, munduan zehar sistema fotovoltaikoak egin zituzten lantegi eta fabriketatik 1,4 eta 1,7 GW bitarteko potentzia ahalmena atera zen¹¹⁷, zenbatekoak aldatuz iturrien

117 *Photovoltaic Energy Barometer*, EurObserv'ER, 2006ko apirila.

arabera -edonola ere, zentral nuklear handi baten potentzia baino gehiago-, munduko potentzia fotovoltaiko metatua ia 6 GW-etaraino eramanez. Zenbateko horiek munduko ekoizpen fotovoltaikoaren %40 baino gehiagoko hazkundera suposatuz. Hazkunde erritmoa, izugarria da. 2005ean, bakarrik EBn ekoizitako sistemen potentzia 645 MW izan zen, 2006 urtearen hasieran munduan instalatuta zegoen hamarren bat baino gehiago, hain justu. Hamabi urte lehenago, 1993an, mundu osoko ekoizpen fotovoltaikoa 69 MW-ekoa izan zen.

Ekialdean, hazkundera izugarria da. 2004an, eguzki-zelulak egiteko Japoniako ahalmena, urteko 610 MW-ekoa zen. 2005 urtean zehar eraikitzekotan zeuden fabrika berriek, 283 MW-eko urteko potentzia ahalmena gehituko zituzketen, 2000 urtean munduan zegoen fabrikazio ahalmen berbera. Txinan, 2004an 80 MW-etatik 2005ean 200 MW-etara pasatzekotan zeuden hango konpainia fotovoltaikoak¹¹⁸.

Esan dugunez, azken urteotan ekoizpenaren zatirik handiena -%60 baino gehiagoherrialde garatueta sareari lotutako sistemetara bideratzen da. Europako Batasunean, adibidez, 2005ean instalatutako sorkuntza fotovoltaikoaren %94,4 zen sareari lotua. Hain merkea da, dagoeneko, elektrizitate fotovoltaikoa? Egia esateko, ez. Izan ere, energia fotovoltaikoa garestienetako bat da, berriztagarrien artean. Erreferentzia moduan, eta teknologia eta ekoizleen arteko aldeak handiak izan arren, esan dezakegu sistema fotovoltaikoen kostuak 6 €/W-en bueltan daudela. Lehenago esan dugunez, kostuaren erdia baino ez da eguzki-zelularena, beste erdia inbertsore, kable-sare, euskarri-egitura eta abarrei egotziz. Silizio kristalinozko eguzki-zelulen kasuan -merkatuan aurki daitezkeen zelulen %90 baino gehiago-, siliziozko olatak -zelularen oinarria, substratua-

118 Bärbel Epp et al., "The PV industry is gearing up", in *Sun & Wind Energy*, 2/2005, 80-84 or.

kostuaren erdia eskatzen du. Bigarren kapituluan esan genuenez, sorkuntza termoelektriko klasikoaren kostua 0,5 \$/W da gutxi gorabehera, eta IGCCko teknologiarena -ikatzaren gasifikazioan oinarritua, oraindik termoelektriko klasikoarekin lehiakorra ez dena- 1,4 \$/W. Energia fotovoltaikoaren kostuak, erregairik behar izan ez arren, oraindik oso altuak dira.

Gauzak horrela, nola azaltzen da sistema fotovoltaikoen ugaltzea? Arrazoa politika publikoetan bilatu behar da. Azken bi hamarkadetan, herrialde garatuetan -Alemania, AEB, Italia, Japonia eta Espania kasu- sustapen-programa garrantzitsuak ezarri dira. Alde batetik, zuzeneko diru-laguntzekin suspertu dira sistema fotovoltaikoen instalazio berriak. Bestetik, elektrizitate fotovoltaikoaren berrerozte-plan indartsuak ezarri dira estatu eta probintzia askotan. 2005eko ekainean, 37 estatu edota probintzia zeuden munduan, berrerozte-planekin martxan. Berrerozte-planen filosofia hobetsia da sektore fotovoltaikoan, zuzeneko diru-laguntzak baino. Berrerozte-planaren bitartez, administrazioek marko legala ezartzen dute, non eta energia elektrikoko banaketa-entresak behartuta dauden edozein ekoizlek sortutako elektrizitate fotovoltaikoa erostera, gainprezio handi bat ordainduz. Elektrizitate fotovoltaikoaren gainprezioa energia elektriko osoaren kostuari gehitzen zaio; sorkuntza fotovoltaikoa oso txikia den bitartean, kontsumitzaileek ez dute nabaritzen energia fotovoltaikoaren suspertze ekonomikoaren kostua. Hala ere, gainprezioa oso altua denez -Espainian, adibidez, kilowatt-ordu arruntaren kostua 7 zentimoren bueltan dabil, eta 100 kW arteko instalazio fotovoltaikoetan sortutakoa 44 zentimotan ordaintzen da-, berrerozte-planek lehiakor bihurtzen dituzte sistema fotovoltaikoak, haien ugaltzea nabarmen bultzatuz. Horrek, berriz, eskala-ekonomien bitartez energia fotovoltaikoaren kostuak gero eta gehiago jaisten ditu. Europan, Espainiako berrerozte-planetz gain, Alemaniakoa dugu, Europan

lehenengoa izateaz gain 2004an 45,7 eta 62,4 zentimo bitarteko prezioa ordaintzen zuena, instalazioaren potentziaren arabera; edota Italiakoa, 48 eta 68 cent/kWh arteko ordainsariarekin. Espainiako administrazioak egindako kalkuluen arabera, berrerozte-planak baliatuz sistema fotovoltaikoetan egindako inbertsioen *barne-errendimenduaren tasa* (25 urtean) %7,11 eta %9,28 artekoa izango litzateke, instalazioaren potentzia eta kokalekuaren ezaugarrien arabera¹¹⁹. Energia fotovoltaikoa, berrerozte-planekin, errentagarria da, ez bairik gabe.

Jarraian, azken bolada honetan modan jarri diren eguzki-hortuen adibide praktikoa bat analizatuko dugu: Acciona Energía konpainiak Nafarroako Castejonean instalatutako eguzki-hortua.

***Acciona Energía – Castejon
(Nafarroa Garaia)***

Potentzia	2,44 MW
Kostua	19 milioi €
	7,8 €/W
Jarraitzaileak	400
Azalera	110.000 m ²
Urteko ekoizpena	4,4 GWh
Produktibitatea	%21
Potentzia dentsitatea	22,2 W/m ²

19. taula. Castejon-go eguzki-hortuaren ezaugarri nagusiak.

Instalazio fotovoltaiko hauen filosofia, berritzailea da sektore energetikoan. Enpresa sustatzaileak instalazio fotovoltaikoa sortu eta mantentzen du. Sistema fotovoltaikoen jabetza bazkideen artean dago banatuta; partaidetza 6 kW-ekoa (edo 48.000 €-koa) da:

¹¹⁹*El Sol puede ser suyo. Respuestas a todas las preguntas clave sobre instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica*, IDAE, 2006ko uztaila, <<http://www.idae.es/doc/SolarFotovoltaica.pdf>>

sistema jarraitzaile bat, alegia. Tamaina horretan, administrazioen diru-laguntzak eskuragarri daude; berreroste-planaren bitartez, banaketa-enpresek 44 cent/kWh ordaintzen dute. Inbertsioa, zortzi urtean berreskuratzen omen da.



27. irudia. Castejon-go eguzki-hortua (Itur.: Acciona Energía-ren kortesia).

Castejon-go eguzki-hortuan, 400 sistema jarraitzaile daude, guztira 2,44 MW-eko potentzia osatuz. Acciona Energia konpainiak emandako datuei kasu eginez gero, sistemen kostua 7,8 €/W da. Sistemen produktibitatea %21 da, 1.800 orduko eguzki-irradiazio bati dagokiolarik. Hortuaren azalera kontuan hartuz, batez besteko potentzia dentsitatea 22 watt metro karratuko da. Zentzu horretan, energia fotovoltaikoa -printzipioz horrela irudi ez arren- energia eolikoa baino energia-potentzia altuagokoa da, eguzki-irradiazioaren fluxu berriztagarria haizeena baino handiagoa delako.

Hala ere, gauza bat da potentzia dentsitatea, eta beste bat guztizko potentzia. Castejon-go eguzki-hortua martxan jarri zutenean, Espainiako instalazio fotovoltaiko handienetariko bat zen. Baina 2,44 MW ez da oso potentzia handia; izan ere, azken belaunaldiko haize-turbinek potentzia hori baino gehiago dute.

Zenbateraino hel daiteke instalazio fotovoltaikoen potentzia? Printzipioz, sistema

fotovoltaikoak oso modularrak dira. Instalazio isolatuak, normalean, tamaina txikikoak dira, zeren elikatu behar dituzten sistemak ere kontsumo txikikoak baitira. Sareari lotutako instalazioen muga, ordea, eskaeraren aldetik desagertzen da. Hala eta guztiz ere, energia fotovoltaikoarekin energia eolikoaren kasuan ikusitako berbera -edo antzekoa- gertatzen da. Fluxu fotovoltaikoa eguzki-izpien eskuragarritasunaren mendean dago. Gauean ez dago Eguzkirik, eta elektrizitate fotovoltaikoaren aurreikuspena nahiko erraza izan arren, kontsumo osoaren zati txiki bat baino ezin da Eguzkiaren mendean egon, esana daukagunez energia elektrikoa eskala handian gordetzea ezinezkoa delako.

Dena dela, sektore fotovoltaikoan ere badaude instalazio erraldoi asko -kontuan hartuta *erraldoi izatearen* kontzeptua, energia fotovoltaikoan, oso txiki geratzen dela beste sorkuntza mota batzuen aldean-. 2005ean, 1 MW baino gehiagoko potentziako instalazio fotovoltaikoak, munduan, 50 inguru ziren¹²⁰. Guztiak sare elektrikoari lotuta, herri garatuetan. Orduko instalazio handiena, 2004ko abenduan martxan jarria, Mühlhausen (Alemania) zegoen, eta 6,3 MW-ekoa zen. Hamaikagarren handiena ez zen heltzen 3 MW-etara. Sektore fotovoltaikoaren hazkundera ikusita, hazkundera instalazioen tamainan ere islatuko da, eta datozen urteotan instalazio askoz handiagoak eraikiko dira. Portugalen, 62 MW-eko instalazio baten proiektua dago, eta Espainian 10 MW baino gehiagoko batzuk.

Instalazio fotovoltaikoen tamaina, beraz, txiki geratzen da ziklo konbinatuko zentralen aldean -Euskal Herrian daudenak 400-800 MW-ekoak dira-, baita sorkuntza eolikoarekin kontratatuta ere: Hego Euskal Herrian bakarrik zazpi parke eoliko daude, banako potentzia 50 MW ingurukoa izanik.

120 Jochen Siemer, "By leaps and bounds. Overview of the world's largest photovoltaic systems", in PHOTON International, 2005eko ekaina, 78-91 or.

Sektore fotovoltaikoaren konpainia handienak, Japoniako Sharp, 2005ean 428 MW-eko sistema fotovoltaiko ekoitzi zuen. Bigarrenak, Europako handiena den Alemaniako Q-cells konpainiak, 160 MW ekoiztu zuen urte beran. Beraz, sistema fotovoltaikoak fabrikatu eta instalatzeko ahalmena, mundu mailan, mugatua da, eta hori da, momentuz, sektorearen hazkundearen traba nagusienetako bat. Espainian adibidez, 2005eko amaieran 38 MW-eko potentzia fotovoltaikoa zegoen sarearekin konektatuta; sareari lotutako etorkizuneko proiektuen eskaerek, berriz, 6.000 MW gehitzen zituzten¹²¹, *burbuila fotovoltaikoaren* arazoa azaleraziz. Aldi berean, azken bi urteotan sistemen ekoizpenaren gaitasun gehikuntzak -fabrika berriak- oso handiak izan dira, baina eguzki-zelulen benetako ekoizpena ez da hazi neurri berean: sektorean funtsezkoena den lehengaiaren eskasia gertatu da, silizio kristalinoarena¹²². Sektoreak urte batzuk beharko ditu silizio fotovoltaikoaren ekoizpen fabrika berri asko eraikitzeke -benetako galdategiak, aluminioa ekoizten dutenak bezalakoak, alegia-. Horren bitartean, ekoizpena moteldu egin da, eta larriagoa dena, egora finantzario arriskutsuan geratu da konpainia bat baino gehiago, ekoizpen ahalmenari irtenbide eman ezinean.

Izan ere, arlo produktiboan agertuko dira, ziur aski, energia fotovoltaikoaren ugaltzearen muga garrantzitsuenak. Posible al da energia fotovoltaikoaren ugaltzea? Galdera hori erantzuten saiatzeko, 28. irudian islatzen den proiektzioan oinarrituko gara. Han, munduan instalatutako potentzia metatuaren eta horren kostu ekonomikoaren bilakaera kalkulatu ditugu, suposizio batzuk eginda:

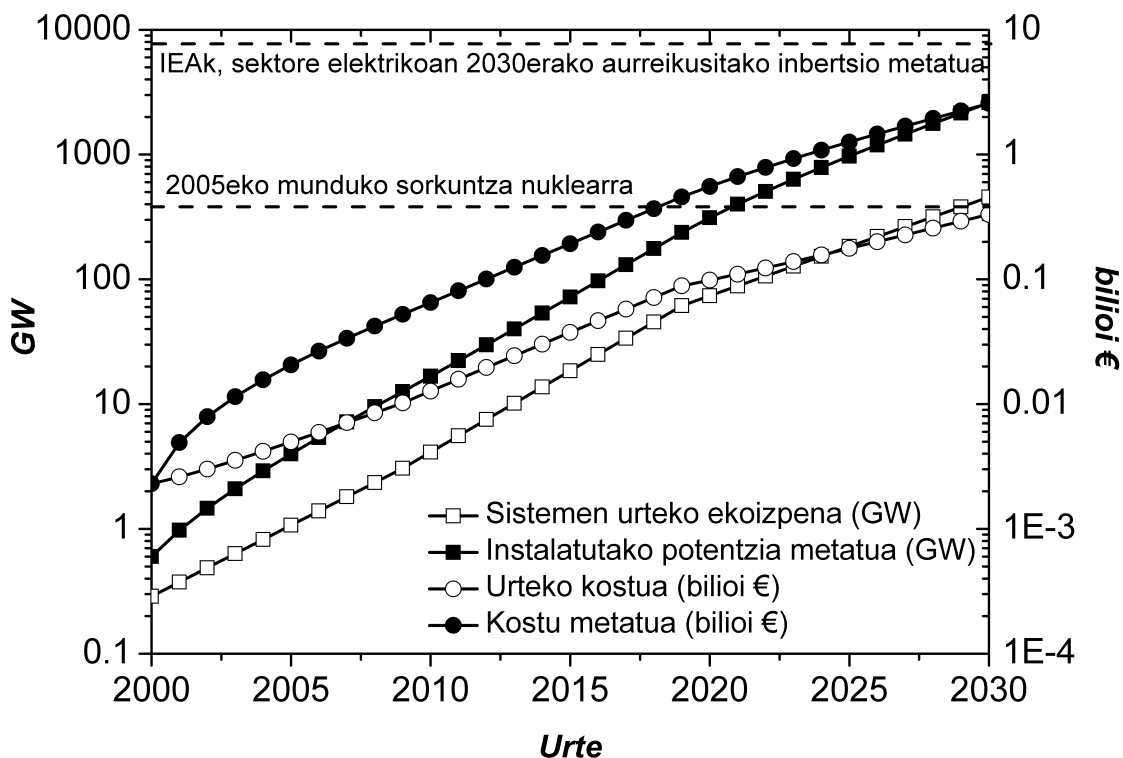
- Munduko ekoizpenaren hazkundera, 2000 eta 2010 urteen artean %30 izango

121 Asociación de Productores de Energías Renovables (APPA), *APPA advierte una burbuja en el sector solar fotovoltaico: sólo hay 38 MW conectados y peticiones por 6.000 MW*, Prentsa komunikatua, 2006ko apirilaren 16a.

122 Jörn Iken, "Sector misfires", in *Sun & Wind Energy*, 1/2006, 10. or.

litzateke; 2010-2020, %35; eta 2020-2030, %20.

- *Ikaste efektua* %18 izango litzateke. Ikaste efektuak hobekuntza teknologikoak eta kostu ekonomikoen murrizketak islatzen ditu; %18 izateak zera dakar: instalatutako potentzia bikoizten den bakoitzean, sistema fotovoltaikoen prezioa %18 murrizten dela.



28. irudia. Munduko potentzia fotovoltaiko instalatu metatua eta kostu metatuak, 2030 urteraino. Hazkundera 2000-2010, %30; 2010-2020, %35; eta 2020-2030, %20; ikaste efektua %18 (Itur.: autoreak propio egina).

Egindako proiektzioa ez dugu ulertu behar etorkizuneko aurreikuspen moduan, baizik eta esperimantu bat, non eta gerta litezkeen ondorio batzuk agertzen diren, baldin eta baldintza zehatz batzuk betetzen badira. Gure kasuan, suposatutako baldintzak zerak dira:

sektore fotovoltaikoaren hazkunderari dagokionez baikortasun neurritsu bat, eta aurrerakuntza teknologikoei dagokienez, ikaste efektuaren bitartez modelatuta, azken hamarkadetako joeraren jarraipena.

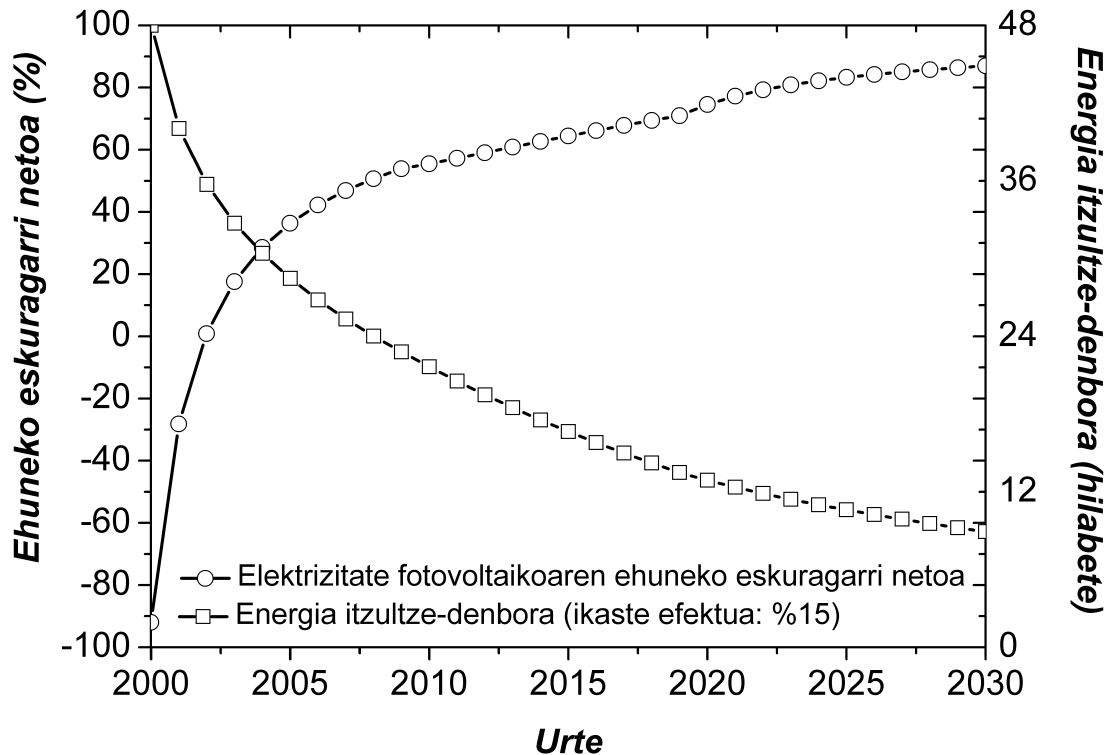
Eszenatoki horretan, gerta litezkeen ondorioak esanguratsuak dira, benetan. 2021ean, potentzia fotovoltaikoa egungo potentzia nuklearra baino handiagoa izango litzateke, zeina, gutxi gorabehera, 400 GW-ekoa den.

2030ean, potentzia fotovoltaikoa 2.600 GW izango litzateke, eta egun munduan kontsumitzen den elektrizitatearen %21 estaliko luke (1.500 orduko batez besteko eguzki-irradiazioa suposatuz; IEAren arabera, 2004an kontsumitutako elektrizitatea munduan 17.450 TWh izan zen). Alde horretatik, ahaltasun fotovoltaikoa nabaria izango litzateke.

Hala ere, potentzialitate handi hori garatzeko beharrezko inbertsioak ere, izugarriak izango lirateke: inbertsio metatua 2030 urtera arte, 3 bilioi €-koa izango litzateke. Gogora dezagun Nazioarteko Energia Agentziak plazaratutako World Energy Investment Outlook 2003 txostenak 16 bilioi dolarretan balioetsi zuela energia sektorean datozen hogeita hamar urteetarako egin beharreko inbertsioa, sorkuntza elektrikoaren sektoreak bakarrik 10 bilioi dolar eskatuz. Inbertsio beharrak, orokorrean, hain handiak izango badira, sektore fotovoltaikoak bereganatu ahal izango du inbertsioen pastelaren zati hain garrantzitsu bat? Ez dirudi oso zentzuzkoa.

Kontuan hartu behar da, baita ere, sistema fotovoltaikoa martxan jartzeko, energia asko erabili behar dela, lehenago, sistema ekoizteko. Energia fotovoltaikoaren kasuan energia eskaera handia da. Energia eolikoa ikertu genuenean esan genuenez, energia-sistema

batek, bera egiteko erabili zen bezainbeste energia ekoizteko, energiaren itzultze-denbora beharko du, energiaren ekoizpen netoa positiboa izaten hasteko. Energia eolikoaren kasuan, itzultze-denbora hiru hilabete baino laburragoa da; energia fotovoltaikoan, berriz, orain dela urte gutxi hiru eta lau urte artekoa izan zen. Datu hauek guztiak kontuan hartuz, aise ondorioztatzen da sorkuntza fotovoltaikoak hornitzen duen potentzia eta energia netoak ez direla metatuak bezain handiak, txikiagoak baizik. Zein neurritan? Hori, itzultze-denboraren bilakaeraren mende dago. Aurrerakuntza teknologikoak bultzatuta, zentzuzkoa da suposatzea etorkizunean energia itzultze-denborak murrizten jarraituko duela, ikaste efektuaren eskutik. Hura %15 izango dela suposatuko bagenu -zeinaren bidez itzultze-denbora 9 hilabeteraino murriztuko litzatekeen 2030ean-, balizko potentzia eskuragarria 2030 urtera arte 29. irudian ikus daiteke.



29. irudia. Energia fotovoltaiko eskuragarria, energia itzultze-denboraren ikaste efektua %15 izango balitz, 2030 urtera arte. Ekoizpenaren baldintzak 28. irudian suposaturikoak dira (Itur.: autoreak propio egina).

Sistema fotovoltaikoa ekoizteko energia elektriko fotovoltaikoa bakarrik erabiliko balitz, energia elektriko fotovoltaikoaren eskuragarritasun netoa 2013an %60koa izango litzateke, eta %87koa 2030ean. 2000 eta 2030 artean erabilgarritasun netoa %83 litzateke.

Energia fotovoltaikoa benetan zoragarria da, baina modu ezin hobean erakusten du energia perfekturik ez dagoela. Bere baitan, energia fotovoltaikoa alde on eta txar nabarmenak biltzen ditu:

- Oso adiskidetsua da: eraikuntzetan integra daiteke, ez dauka elementu mugikorrik, isila da, ez da arriskutsua, instalazioen tamaina ez da handia, instalazioak oso modularrak dira...
- Munduko instalaziorik handienak 5-10 MW artekoak dira. Energia sektoreko korporazio handientzat, ustiapeneko tamaina txikiegia da.
- Teknologia fotovoltaikoa oso heldua da: zelula industrialen efizientzia %13-17 artean dago, eta 2020rako %20 baino gehiago izatea espero da.
- Baina Eguzkiak ematen duena baino gehiago ezin du eman: karga faktorea apala da (%20 baino gutxiago), eta energia elektrikoa ezin da erraz gorde.
- Silizioa oso ugaria da (silizea). Lehengaien aldetik, ez dago eragozpenik ugaltze masiborako.
- Silizio puruaren ekoizpenaren kostu energetikoa ere oso altua da: EPBT 3-4 urtekoa da (energetikoki, silizioa aluminioa bezain garestia da).
- Kostu ekonomikoa oso altua da, eta energia fotovoltaikoaren ugaltze masiboa gerta dadin beharko diren inbertsioak izugarriak izango dira.

Energia termikoa

Energia termikoaren sorburua eguzki-erradiazioa da. Normalean, eguzki-energia termikotzat hartzen dena zera da: hainbat etxebizitza eta eraikuntzetan berokuntza, ur bero eta elektrizitatea hornitzeko erabiltzen dena. Hala ere, hori -energia termiko komertziala deituko duguna- baino askoz gehiago da energia termikoa, eguzki-erradiazioa guztiz funtsezkoa gertatzen baita gure planeta ezagutzen dugun moduan mantentzeko: eguzki-erradiazioak ur-zikloa eragiten du; troposferan bizitza-baldintzak sortzen ditu klimaren erregulazioaren bitartez; azken batean, kate trofikoaren lehenengo urratsean, alga, bakterio eta landare guztietan prozesu fotosintetikoak atzematen duen energia

hornituz planetako bizitza osoa sustatzen du.

Eguzki-erradiazioaren ekarpena izugarria da, baina guztiz ohituta gaudenez, bakarrik haren hutsunea edo murrizketa sumatzen dugunean konturatzen gara, energiaren kontsumo komertzialean eragin zuzena eragiten duenean. Horrelako zerbait gertatzen da latitude gehiagoko beste herrialde batera bidaiatzen garenean, edo zeinahi lekutan gertatzen diren negu eta uda arteko tenperatura eta argitze aldeak nozitzen ditugunean, urtean zehar eguzki-erradiazioaren makurduraren aldaketak direla eta.

Zentzu horretan, munduko herrialde gehien-gehienetan, eguzki-erradiazioa hobeto erabiltze aldera, martxo eta urri arteko hilabeteetan ordutegia ordu bat aurreratzen da, neguko ordutegiarekin konparatuta -Euskal Herrian neguko ordutegia ere, berez, badago eguzki-ordutegiarekin beste ordu bat eta minutu gutxi batzuk gehiago aurreratuta-. Administrazioen arabera, ordutegiaren aurrerapenak ekarritako energia elektrikoaren aurreztea %5ekoa da bizitegi sektorean, eta %3 gehiago komertzio sektorean. Horrela dela ahaztu barik, atal honetan berokuntza eta ur bero eta elektrizitatea sortzeko erabilitako energia termikoaren ustiapenean bakarrik jarriko dugu arreta.

Energia termikoaren potentzialitatea oso handia da berokuntzan eta ur bero hornitzeko. Herri batzuetan oso erabilia da, eta legeek eraikuntzetan sistema hauek erabiltzera behartzen dute.

2004ko munduko datuak

Ur bero / berokuntza (potentzia)	77 GW
Etxebizitzak energia termikoarekin	40 milioi
Etxebizitzak munduan	1.600 milioi

20. taula. Tenperatura baxuko energia termikoaren datu batzuk, 2004an (Itur.: REN21).

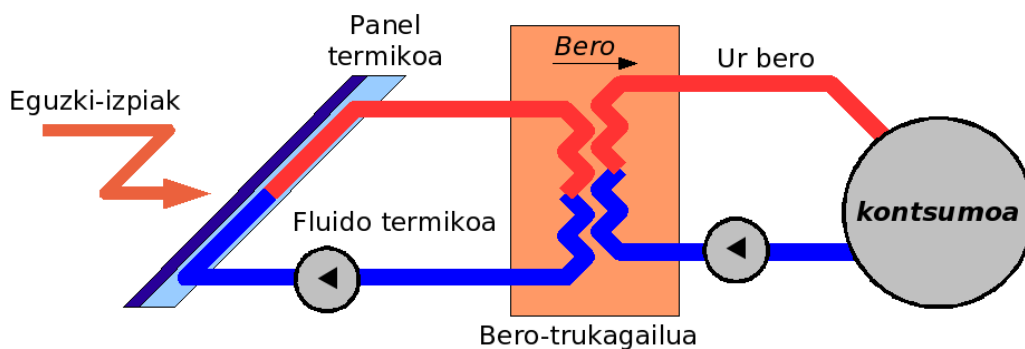
Azken datuen arabera¹²³, munduan instalatutako potentzia termikoa 77 MW-ekoa da -erreferentzia moduan, hori da, gutxi gorabehera, Espainian dagoen sorkuntza elektrikoaren potentzia-. Munduan, ur bero lortzeko energia termikoa erabiltzen duten 40 milioi inguru etxebizitza daude, munduko etxebizitza guztien %2,5. Tenperatura baxuko sistema termikoen erabilera nagusia ur bero hornitzekoa da. Hala ere, herrialde garatuetan berokuntza hornitzeko ere erabiltzen da, etxebizitzetan, ur bero sortzearekin batera.

Berokuntza eta ur bero hornitzeko sistema termikoek *tenperatura baxuko energia termikoa* ere deiturikoa-, Txinan, Europako Batasunean, Israelen, Turkian eta Japonian berokuntza eta ur beroaren merkatuaren zati handi bat biltzen dute. 2004 urtean, Txinan 13,5 milioi m²-ko sistemak salerosi ziren, munduko merkatuaren %60 metatuz. Europako Batasunak, urte berean, tenperatura baxuko energia termikoaren munduko merkatuaren %11 bildu zuen, Turkiak %11 eta Japoniak %9 bildu zuen bitartean. 2004an EBn instalatutako sistema termikoen azalera 15,4 milioi m²-koa izan zen, nagusiki Alemanian (6,2 milioi m²), Grezian (2,8 milioi m²), Austrian (2,4 milioi m²) eta Frantzian (0,8 milioi m²). Hala ere, Europako sektore termikoak ez ditu beteko Europako Batzordearen helburuak¹²⁴.

123 REN21 Renewable Energy Policy Network. 2005. "Renewables 2005 Global Status Report" Washington, DC:Worldwatch Institute, 6-13 or.

124 2005 EUROPEAN BAROMETER OF RENEWABLE ENERGIES. 5TH REPORT, EurObserv'ER, 2006.

Hego Euskal Herrian, sistema hauen erabilera oso apala da. 2004an, EAEn 4,8 mila m²-ko sistemak zeuden instalatuta, eta Nafarroako Foru Erkidegoan 12,5 mila m²-ko sistemak. 2010erako Espainiako administrazioak agindutako helburuak betez gero, sistemen azalerak EAEn 130,4 mila m²-koa eta NFEEn 89,9 m²-koa izan beharko luke. Hala ere, helburuak betez gero eguzki-energia termikoaren dentsitatea oso apala izango litzateke: EAEn 61 m²/mila biztanle, eta NFEEn 152 m²/mila biztanle, herrialde sentibilizatuengandik oraindik oso urrun: Israelen, mila biztanleko 700 m² baino gehiago daude, Zipren 600 m², eta Grezian eta Austrian 250 m².



30. irudia. Temperatura baxuko sistema termiko baten diagrama.

Temperatura baxuko sistema termikoen teknologia oso heldua da, eta haren abantailek energia honen erabilera bultzatu beharko lukete, indarrez. Hasteko, sistemen funtsa guztiz sinplea eta ulergarria da: kolektorearen panelak eguzki-erradiazioa atzematen du, eta fluido termikoa berotzen. Batzuetan fluido termikoa ura da, eta kolektoretik bero ateratzen denean, erabilgarria da zuzenean. Askotan, fluido termikoak atzemandako energia termikoa bero-trukagailu baten bitartez ematen zaio azken kontsumoko fluidoari. Horrela, adibidez, izozte-temperatura baxuagoko beste fluido bat erabiliz gero, kolektore barruko fluido ura izan balitz neguan gerta zitekeen uraren izoztea ekiditen da.

Sistema termikoetan, elementu kritikoenak materialen ezaugarri fisikoak dira -erabilitako fluido termikoarenak, erradiazioa atzematen duen panelarena eta abar-, galera termiko guztiak gutxitzearekin batera. Egungo sistema termikoek efizientzia oso altuak lortu dituzte, %50 eta %70 bitartean. Efizientziari dagokionez, sistema hauen efizientzia altuenetariko bat da energia berriztagarrien artean, altuena ez bada. Gainera, sistema termikoen ingurumen-inpaktua txiki-txikia da, eta sistemak eraikuntzetan integratu ahal direnez, energia termikoa sorkuntza-lekuan bertan kontsumitzen da, garraio azpiegituren beharrak eta garraio galerak guztiz saihestuz.

Gauzak horrela, sistema termikoen erabilerak ordezkatu ahal duen erregai fosilen kontsumoa garrantzitsua da: sistemaren metro karratuko, urtean, 0,08 eta 0,10 tona petrolio baliokide bitartean. Zentzu horretan, oso garrantzitsua da ur bero sortzeko erregai fosilak erabiltzen dituzten beste sistemen ordezkapena, kolektore termikoak erabiliz. Horrela, erregai fosilen kontsumoaz gain, CO₂-ko isurketak ere ekidingo dira, modu oso eficiente batez: gas naturalaren bidez ura berotzen duten sistemak ordezkatzuz gero, ekidindako isurketa 0,16-0,2 tona CO₂/m²-koa litzateke, eta ikatzeko zentral termoelektriko batean sortutako energia elektrikoa erabiltzen duen berogailu bat ordezkatzuz gero, saihestutako isurketa 0,9-1,1 tona CO₂/m²-koa litzateke¹²⁵.

Ezbairik gabe, eguzki-energia termikoa merkeenetariko bat da. Espainiako administrazioaren arabera¹²⁶, sistema hauen kostua 0,83 eta 1,16 €/W artean kokatzen da. Hala ere, sistema termikoen energiaren kostua oraindik merkatuan salerosten den

125 Erregai fosilen errekontzan erreferentziatzen hartzen diren CO₂-ko isurketak honako hauek dira: 4,13 tona CO₂/tpb ikatz, 3,1 tona CO₂/tpb petrolio, 2,36 tona CO₂/tpb gas natural. *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, IPCC, Volume 2, Energy, 2-8 or.

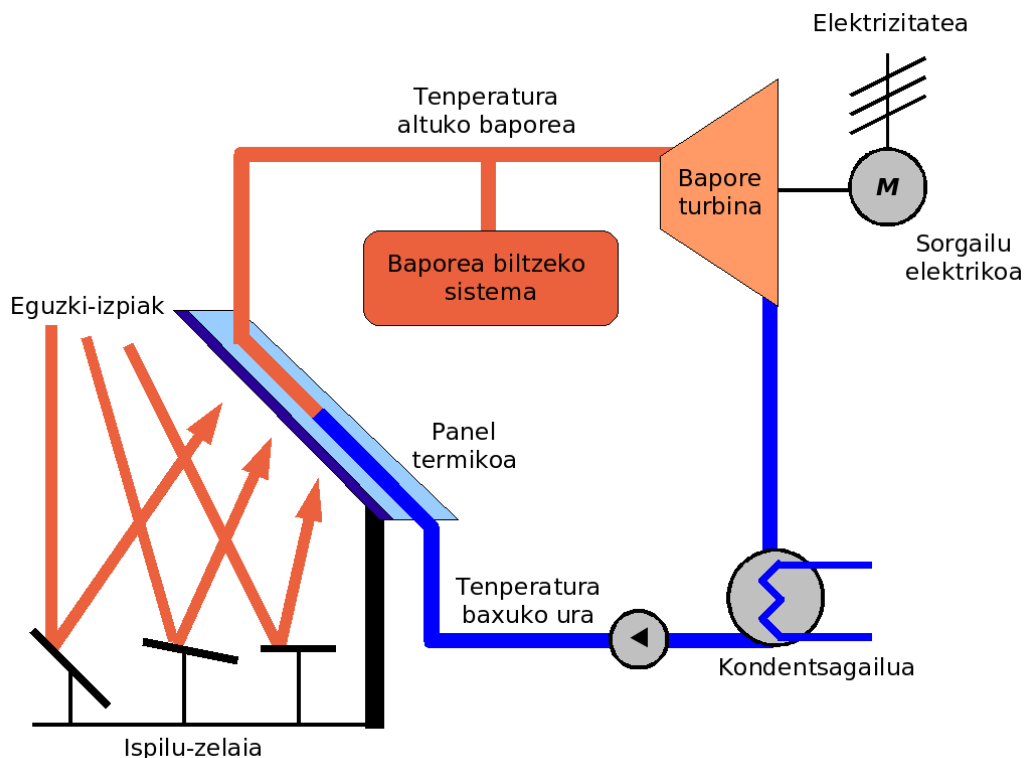
126 Plan de energías renovables en España 2005-2010, 2005eko abuztua, IDAE, Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 109-110 or.

elektrizitatearena baino altuagoa da: 8,8 eta 13,1 cent/kWh bitartekoa. Temperatura baxuko sistema termikoen ugaltze aldera, Espainiako administrazioak berriki ia edozein eraikuntza berritan sistema termikoak instalatzeko beharra ezarri du¹²⁷. Eguneko ur beroaren kontsumoa gutxienez 50 litrokoa den eraikuntzetan, energia termikoak hornitutako ur beroaren ehunekoa gutxienez %30ekoa izan behar da, eta eskaera eta eremu klimatikoaren arabera %70 arte hel daiteke.

Temperatura baxuko sistema termikoek, ur bero hornitzeko oso erabilgarri eta lehiakorrak izan arren, ezin dute modu efizientean energia elektrikoa sortu. Haietan, ura 70-100°C-ra arte berotzen da, zuzeneko kontsumorako oso aproposa den temperatura batean, baina temperaturren arteko alde txikiak ez du ahalbidetzen elektrizitatearen sorkuntza eraginkorrik. Hori lortzeko, temperatura askoz altuagoan lan egiten duten sistemetara mugitu behar dugu: sistema termoelektrikoak, edo *temperatura altuko sistema termikoak*.

Temperatura altuko sistema termikoen funtsa, aurrez ikusitakoen berbera da, ñabardura bat gehituta: kasu honetan, fluido termikoak jasaten duen eguzki-erradiazio maila askoz altuagoa izan behar da, temperatura altuagoak lortzeko. Sistema termikoak jasotzen duen eguzki-irradiazioa handitzeko, kontzentrazio sistemak erabiltzen dira, gehienetan ispiluak, eta batzuetan parabola-ispiluak. Ispilu-sistemetan, eguzki-izpiak dorre gainean dagoen errezeptore batean kontzentratzen dira, ehunka ispilu bidez. Errezeptore barruan, kontzentrazio altuko irradiazioak fluido termikoa berotzen du. Ziklo termiko baten bitartez, turbina bat -edo Stirling makina bat- erabiliz, fluidoaren beroa elektrizitate bihurtzen da (ikus 31. irudia).

127 REAL DECRETO 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. Bereziki dekretu-osagarriaren HE4 atala, 77-104 or.



31. irudia. Tenperatura altuko ispilu-sistema termiko baten diagrama.

Sistema termoelektikoetan, sistema fotovoltaikoetan gertatzen denaren kontra, karga faktorea altua izan daiteke: %65 baino gehiago, eta beti eguzki-irradiazio orduei dagokiena baino gehiago -sistema fotovoltaikoen karga faktorea, ordea, %20-ren bueltan dabil. Honen funtsa, fluido termikoaren inertzia termikoan, edo beroa biltzeko gaitasunean datza. Egunean zehar fluidoak berotzen da, eta gauean -edo eguzki-irradiazioaren intentsitatea jaisten denean- fluidoak bildutako energia termikoari esker, sistemak jarraitzen du elektrizitatea ekoizten.

**Power Tower “Solar II”
(California)**

Potentzia	10 MW
Dorrearen altuera	91 m
Ispiluak	1.926
Kostua	4 US\$/W

21. taula. “Solar II” 10 MW-eko sistema termoelektrikoaren ezaugarri nagusiak (California, AEB).



32. irudia. California-ko (AEB) “Solar II” 10 MW-eko sistema termoelektrikoa (Itur.: DOE/NREL-en kortesia).

21. taulan eta 32. irudian “Solar II” izeneko sistema termoelektrikoaren ezaugarri nagusiak erakusten dira. Californian 1996an martxan jarritako 10 MW-eko sistema termoelektriko honen funtzionamenduak, aurrez azaldutako eskemari jarraitzen dio. Dorrearen inguruan kokatutako 1.900 ispilu baino gehiagok heliostatoen bitartez Eguzkiaren mugimenduari jarraitzen diote, haren izpiak dorrearen goiko partean dagoen errezeptorearen gainean islatuz. 91 metroko dorrearen goiko partean, bere baitan gatz urtua biltzen duen sistema termikoaren errezeptorea dugu. Eguzki-izpi kontzentratuen eraginez, fluido termikoa ia 600°C arte berotzen da. Bero-trukagailuaren bitartez, gatz urturen fluidoak baporea

sortzen du, zeinak 10 MW-eko bapote-turbina bat mugiarazten duen. Gatz urtuaren biltegi sistemak inertzia termiko nabaria dauka, eta horri esker eguzki-irradiazioa bertan behera geratzen denean, fluido termikoan bildutako beroa dela eta, sistemak turbina mugiarazten hiru orduz jarraitu ahal du. Horrela, kostu ekonomikoak pixka bat apalagoak izateaz gain, sistema fototermikoek fotovoltaikoek abantaila pisudun bat ateratzen diete: haien karga faktorea hiru aldiz altuagoa da, sistema fotovoltaikoetan %20 inguru izanik, termoelektrikoetan %60 baino gehiago izateraino. Sistema termoelektrikoek hobeto ahalbidetzen dute haien bidez sortutako energia elektrikoaren erregulazioa, sistema fotovoltaikoek baino. Eguzki-irradiaziorik ez dagoenean, sistema fotovoltaikoek ezin dute elektrizitatea sortu; termoelektrikoek, baina, jarraitu ahal dute elektrizitatea sortzen, haien biltegietan pilatutako energia termikoa erabiliz.

Alabaina, sistema termoelektrikoek badaukate desabantaila larri bat, zeinak nabarmen baldintzatzen duen mota honetako sistemen kokapena. Errezeptorean fluido termikoa 600 graduan jartzeko beharrezko diren irradiazio mailak lortzeko, behar-beharrezkoa gertatzen da kontzentrazio sistemak erabiltzea. Ispiluek -edozein motatakoak izanik- Eguzkiaren irradiazioa bideratzen dute errezeptorearengana, *zerua lainotuta ez dagoenean*. Eguzkiaren izpi zuzenak eskuragarri ez daudenean -Eguzkia hodei baten atzean dagoelako, adibidez, eguraldi lainotsuetan erradiazioa askoz lausoagoa baita- kontzentrazio sistemaren efizientzia larriki murrizten da. Sistema termoelektrikoak bakarrik Eguzki distiratsua urtean zehar egun askotan nahiko ziurtatuta dagoen lekuetan aurkituko ditugu, eta hori ez da, ziur aski, Euskal Herriko lur eremu gehienen kasua. Europako industria-sektorea biltzen duen ESTIA erakundeak dio “egungo kontzentrazio sistemen teknologiak, gutxienean, urtean 1.900 orduko zuzeneko irradiazio maila eskatzen” duela¹²⁸.

128 *Solar Thermal Power 2020. Exploiting the heat from the Sun to combat climate change*, European Solar Thermal Industry Association (ESTIA) eta Greenpeace 2003, 47. or.

Eta zein da zuzeneko irradiazio maila Euskal Herrian? Informazio urria daukagu eskuragarri, baina dagoenaren arabera¹²⁹, Bilbon urteko irradiazio globala -plano horizontalean- 1.076 ordukoa da, baina zuzeneko irradiazioa 829 ordura jaisten da -Eguzkiari jarraipeneko sistema bat erabili arren-; Gasteizen irradiazio globala 1.295 ordukoa da, eta zuzenekoa 1.207 ordukoa. Sevillan berriz, irradiazio globalaren maila 1.783 ordukoa da, eta zuzenekoa, jaitsi beharrean, igotzen da, 2.086 orduraino. Ikusten denez, kontu handiz ibili behar da kontzentrazioko sistemen ahaltasunez aritzean.

Munduan, 2004 urtean, guztira 400 MW-eko potentzia termoelektrikoa zegoen instalatuta. Azken hamarkadan instalatutako potentzia oso gutxi hazi zen arren, badirudi suspertze moduko bat gertatzen ari dela herri askotan, AEBetan eta Espainian bereziki. Estatu horien eremu askotan, baldintza klimatikoak ezin hobeak dira sistema hauentzat. Espainiako administrazioak energia berriztagarrientzat agertutako asmoak horren adibide zuzena dira: 2010ean Hego Euskal Herrian instalaziorik ez egotea aurreikusten da; Andaluzian, berriz, 230 MW-eko potentzia daukate planifikatuta. Haien barruan, PS-10 izeneko sistema egongo da, zeinaren kostu ekonomikoak, 3 €/W inguruan, energia elektrikoaren salmenta 20 cent/kWh azpitik ahalbidetuko omen baitu¹³⁰.

129 Spanish Weather for Energy Calculations (SWEC), eskuragarri AEBetako DOEren bitartez:

<http://www.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data3.cfm/region=6_europe_wmo_region_6/country=ESP/cname=Spain>

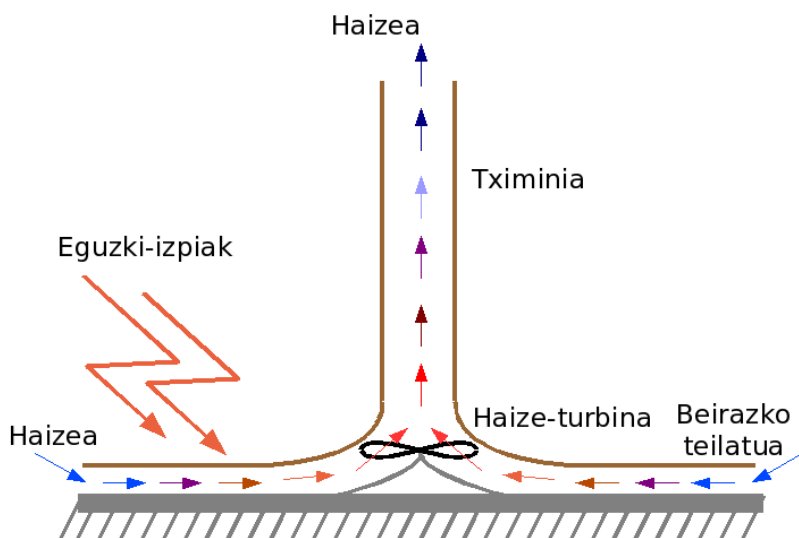
130 “Plataforma solar de Sanlúcar la Mayor. Plantas PS10 y Sevilla PV”, in ERA SOLAR, 2006ko irail-urria, 86-93 or.

PS-10
(Sanlúcar la Mayor, Andalucía)

Potentzia	11,02 MW
Dorrearen altuera	115 m
Fluido termikoa	Baporea
Beroaren biltegia	15 MWh
Eremua	55 ha
Energia dentsitatea	20 W/m ²
Efizientzia netoa	%18
Kostua	3,2 €/W

22. taula. PS-10 sistema termoelektikoaren ezaugarri nagusiak.

Sistema termoelektikoaren artean, azken bolada honetan arreta eskatu duen *eguzki-tximiniaren* kasua aurki dezakegu. Energia elektrikoa sortzeko eralbilgarria omen den balizko instalazio energetiko honen analisiak, modu ezin hobean ahalbidetzen du energia egoerarekin lotutako eztabaidan gertatzen ari diren hutsune, gehiegikeri eta guztiz harrigarriak diren hutsegite batzuk azaleratzen.



33. irudia. Eguzki-tximiniaren diagrama.

Zer da eguzki-tximinia? Eguzki-tximiniak hiru oinarri ditu: berotegi-efektua, tximinia-efektua eta haize-turbinaren funtzionamendua. Haren funtsa (ikus 33. irudia), simple samar da: eguzki-erradiazioak teilatu azpian dagoen haizea berotzen du, berotegi-efektuaren bitartez; haize beroa, teilatu erdian kokatuta dagoen tximinia barrura sartzen da; tximiniaren goiko eta beheko ahoen artean dagoen tenperatura aldeak eragindako tximinia-efektuak tiroa sortzen du; tximiniaren oinarrian, haize-turbina batek haizearen energia zinetikoa elektrizitate bihurtzen du.

Zer dela eta hainbeste arazo sistema hauekin? Printzipioz, ez dirudi erabili beharreko teknologia oso kritikoa denik, ezta haren funtzionamenduaren oinarrian dauden printzipio fisikoak ere: berotegi-efektua -haizea eguzki-erradiazioaren bitartez berotzea-; tximinia-efektua; turbinen bitartez elektrizitatea sortzea... Kontua da sistema hauek paperean baino ez direla existitzen. Batzuen ustez potentzialitate handiko sistemak dira, baina komertzialki oraindik ez dira ustiatzen. Eguzki-tximiniaren aurrekari bakarra munduan, Espainiako Manzanares herrian Unión Fenosa konpainia elektrikoak Alemaniako Ikerketa eta Teknologiarako Ministerioaren suspertzearekin 1981ean eraikitakoa da¹³¹. Eguzki-tximinia horrek 50 kW-eko potentzia zeukan, eta 8 urtez ibili zen martxan, esperimentazio moduan, 1989an eraikuntza-akats batzuk zirela-eta ekaitz baten laguntzarekin zalapartaka eraitsi arte. Manzanares-eko tximinia, beste askoz handiago baten aurrekaria izango omen zen, SolarMission Technologies, Inc. izeneko konpainiak Australiako basamortuaren erdi-erdian eraikitzea aurreikusten duena, zeinaren ezaugarri nagusiak 23. taulan ikus daitezkeen.

131 Ikus Eduardo Lorenzo katedradunak honetaz egindako ariketa praktikoan agertzen den hitzaurre historikoa <<http://www.fotovoltaica.com/chimenea.pdf>>

Eguzki-tximinia

Potentzia	200 MW
Tximiniaren altuera	1.000 m
Tximiniaren diametroa	150 m
Teilatuaren azalera	24,9 km ²
Potentzia dentsitatea	8 W/m ²

23. taula. SolarMission Technologies, Inc. konpainiaren eguzki-tximiniaren ezaugarri nagusiak.

Aipatutako konpainiaren aburuz, proiektu honen papera munduko energia sektorean iraultzailea izango da, ezbaierik gabe:

Solar Tower proiektuak munduko energia merkatuak betirako aldatuko ditu, eta litekeena da berotze globalaren efektuak murriztea ere.¹³²

Australiako basamortuan eraikitzekotan omen dauden eguzki-tximiniaren proiektuaren renderizazio bat eskuragarri dago, interneten bitartez¹³³. Benetan ikusi beharrekoa, bideoak lerro hauek idazten dituenari zientzia-fikziozko pelikula baten irudiak gogorarazten dizkio.

Kontua da eguzki-tximinia famatu hau erraldoia, eta hein handi batean lekuz kanpoko delat. 200 MW-eko potentzia garatzeko -zeina, handia izanik, edozein zentral nuklear edo ziklo konbinatukoarena baino gutxiago den- beharko litzatekeen instalazioaren ezaugarriak itzelak eta sekulakoak dira: tximiniaren diametroa 150 metro; haren altuera, 1.000 metro -bai, kilometro bat-; eta teilatuen azalera, non eta haizea berotzen den, ia 25 kilometro koadro -ia 6 kilometro diametroko zirkulu bat-.

132 <<http://www.solarmissiontechnologies.com/index.html>>

133 <<http://www.enviromission.com.au/project/video/video.htm>>

Munduan, ez dago horrelako eraikuntzarik. Torontoko telebista dorreak, adibidez, 600 metroko altuera dauka. Zalantzarik gabe, eraikiz gero, munduko eraikuntzarik altuenetako baten aurrean egongo ginateke, eta turista eta bisitari ugari erakarriko lituzke. Suspertzaileen aburuz, proiektuaren sendotasuna, erabilitako teknologiaren sinpletasunean datza. Hala ere, ez dirudi kilometro bateko dorre bat hain sinplea denik! Gainera, proiektu honen aitzindaria eraitsi zela jakinda -izan ere, Manzanares-eko dorreari buruzko xehetasun hori, ez da inon aipatzen konpainia sustatzaileak emandako dokumentazioan-. Posible al da horrelako tximinia bat eraikitzea? Denborak esango du. Gutxienez, argi dago ingeniartzaren aldetik lan zibila ez litzatekeela batere erraza izango.

Energetikoki, proiektuaren errentagarritasuna gutxienez arriskutsua da, sustatzaileek emandako datuen arabera: fluxu berriztagarriak atzematen dituzten dispositibo eta instalazio guztien kasuan gertatzen den modu berean, honetan ere instalazioa martxan jarri baino lehen energia ekarpen garrantzitsu bat izango da beharrezkoa, gero, energia itzultze-denboran instalazioak itzuliko duena. Eta eguzki-tximiniaren kasuan, eraikuntzan beharrezko energia kantitatea oso handia da. Emandako datuen arabera, tximinia eraikitzeko beharrezko hormigoi bolumena ia 600.000 metro kubiko litzateke. Kolektorearen teilatua eraikitzeko beharrezko materialekin batera, tximiniaren kostu energetikoa 24 petajoule-ekoa litzateke¹³⁴, edo 500 MW-eko zentral nuklear batek ia hogeit hilabetean sortzen duen energia. Eguzki-tximiniaren karga faktorea %60 litzatekeela suposatuta, energia itzultze-denbora 6,4 urte litzateke, sistema fotovoltaikoena baino luzeagoa.

Energiaren alorrean edota ingeniartzan, ez dago mirakulurik -gogora dezagun beste behin

¹³⁴ Kostu energetikoaren kalkulua egiteko, honako datu hauek erabili ditugu: hormigoi eta beiraren dentsitatea, 2.400 kg/m³; hormigoiaren kostu energetikoa, 15 MJ/kg; beiraren kostu energetikoa, 20 MJ/kg.

Edisonen auto elektrikoa-. Hala ere, txundigarria da irtenbide ia magikoak aurkitzeko batek baino gehiagok erakusten duen gaitasuna. Greenpeace gobernuz kanpoko erakundeak 2005ean plazaratutako Espainiako potentzialitate berriztagarriei buruzko txostenean¹³⁵, Hego Euskal Herrirako 10 GW-eko potentzia gaitasuna ezagutzen du, 200 MW-eko 50 eguzki-tximinia, hain justu. Espainiako administrazioen planetan, ezta Europako Batzordearen txostenetan ere, berriz, eguzki-tximiniaren arrastorik ez.

Gaitasun potentziala eta sorkuntza errealaren arteko aldea, eguzki-tximiniaren kasuan, handiegia da. Hura azaltzeko, batzuek konspirazio-teoriaren bidetik joko dute: botere ekonomikoek ez dutela energia berriztagarri nahi, haien irabazien oinarriak zalantzan jartzen ei dituztelako, eta abar. Hala ere, nire uste apalez, azalpena askoz sinpleagoa da. Teknologia guztien kasuan gertatzen den modu berean, ideia berriak errealitatean txertatzeko, denbora, probak eta hutsegiteak behar dira. Eta esku artean daukaguna, kilometro bat altu den tximinia bat, ez da batere txantxetan ibiltzeko modukoa.

Biomatatik ateratako energia, eta bioerregaiak

Milaka urtez, biomatatik ateratako energia izan da gizateriak eskuragarri izan duen energia bakarra. Nazioarteko Energia Agentziak biomasa eta hondakinetatik ateratako energia primarioa 2003 urtean 1.143 Mtpb-tan balioetsi zuen: kontsumo osoaren %10,7. Gogora dezagun, baita ere, biomasa dela gizateriaren elikaduraren iturri bakarra. Hortaz, biomasa kontuan hartzea, funtsezkoa eta guztiz beharrezkoa da energia-sistema ulertzerakoan, baita energia berriztagarri berrien papera beharrezkotzat joko ez bagenu ere.

135 *Renovables 2050. Un informe sobre el potencial de las energías renovables en la España peninsular*, Greenpeace, 2005, 144-172 or.

Biomasaren garrantziak, iraganean nahiz egun, baliabideen eskuragarritasun izugarriari dio zor. Izan ere, biomasa zen gizakiak lehenengo aldiz erre zuena, sua nola erabiltzen asmatu zuenean. Biomasa ere, bada erregai fosil guztien iturburua: petrolio, ikatz eta gas naturala.

Biomasa hitza termino oso zabal bat da, zeinaren barruan baliabide asko eta energiaren konbertsioko teknologia anitz biltzen diren. Energia arloan, biomasa zera da: bizi-materia eta bere hondakinak, zeinak fotosintesiaren bitartez atzemandako eguzki-energia biltzen duen. Biomasaren zati garrantzitsuena, berriki bizidun izan diren landareen hondarrak dira: landare-materia eta landare-zuntzak, baina ez bakarrik. Beste izaki bizidun guztien hondakinak ere *biomasatzat* hartzen dira, baita haiek bizitzan zehar sortutakoak: gorotza eta abar, adibidez. Energia sektorean, biomasa erregai moduan da erabilia, konbustioaren bitartez energia termikoa askatzeko.

Biomasaren dentsitate energetikoaren tarte oso zabala da, biomasaren baliabideak oso anitzak baitira. Gorotzaren 2 MJ/kg-tik, landare-olioen 37 MJ/kg-raino, petrolioaren 42 MJ/kg-tik oso hurbil. Karbohidrato puruen dentsitate energetikoa 17 MJ/kg da, egur idorarentzat erreferentzia ona izanik. Izan ere, hezetasuna da biomasaren konbustioan eragozpen handienetako bat, konbustioa zaildu eta prozesuen efizientzia moteltzen duena.

Ikusten denez, biomasa mota batzuen dentsitate energetikoa petrolioarenarekin alderagarri da. Gainera, konparaketan hain ondo geratzen ez diren beste mota askoren kasuan ere, energia biltzen da, eta dentsitate gutxiagoan izan arren, beste fluxu berriztagarrien erabileran gertatzen ez den moduan. Biomasa da, ezbairik gabe, eguzki-

energia biltzeko modu sinpleena.

Eguzki-energia biomasan behin bilduta, askotarikoak dira hura beste motako energia bihurtzeko bideak¹³⁶: bero sortzeko konbustioaren bidez; hidrogenoa edo metanoa sortzeko pirolisi eta gasifikazioaren prozesu termokimikoen bidez; edo beste erregai-gas batzuk sortzeko, digestio anaerobiko eta fermentazioaren prozesu biokimikoen bitartez. Energia-katearen amaieran energia lan fisiko bihurtuko duten dispositibo eta teknologiak ere askotarikoak dira: bioerregaiak erabiltzen dituen diesel motorra, biomasatik ateratako hidrogenoa erabiltzen duen erregai-pila, edota ziklo konbinatuarekin batera integratutako gasifikazioaren bidez (IGCC) elektrizitatea sortzen duen efizientzia altuko zentral termoelektroa.

Bimasari dagokionez, haren ustiapenean eskuragarri dauden aukera teknologikoak fidagarriak dira, eta kostuei begira nahiko lehiakorrak, gutxienez azpi-sektore edo baldintza batzuetan. Munduan zehar, adibidez, 570 milioi etxeko sukaldetan erabiltzen da biomasa, erregai moduan, haien erdian baino gutxiago bakarrik modelo efizienteagoetako sukaldeak erabiliz, zeinak energia erabileraren efizientziaren ikuspuntutik etorkizuneko hobekuntza tarte handiak uzten baititu. Munduan¹³⁷ 2004an 16 milioi digestore anaerobiko zeuden, haietako gehienak Indian eta Txinan, etxebizitzetan biogasa sortuz. Kasu gehienetan, digestore anaerobikoek industria- eta janari-hondakinak erabiltzen dituzte, horrela hondakinen kudeaketaren arazoa neurri batean arinduz. Energia elektrikoa sortze aldera, munduan 40 GW baino gehiagoko potentzia dago, egun, galdara-bapore turbineko sistemak erabiliz, nagusiki. Errendimendua hobetze aldera, IGCC delako ziklo oso

136 Sribas C. Bhattacharya, "Fuel for thought. The status of biomass energy in developing countries" in RENEWABLE ENERGY WORLD, 2004ko azaro-abendua, 122-130 or.

137 REN21 Renewable Energy Policy Network. 2005. "Renewables 2005 Global Status Report" Washington, DC:Worldwatch Institute, 6 or. eta N3.

efizienteak erabiltzen dira. Hala ere, aurrerago ikusiko dugunez, zentral horietako bat elikatzeko behar den ustiapen-eremua oso altua da, eta askotan, biomasa, ikatzeko zentral termoelektriko konbentzionaletan erretzen da, ikatzarekin batera.

Biomasak eskaintzen digun beste aukera oso interesgarri bat da landare zuntzak prentsatzearena, biomasako *adreilutxo* eta *bolatxo txikitxuak* sortuz. Prozesu fisiko horren bitartez, zuntzek hezetasun ia guztia galtzen dute, energia dentsitate altuenetariko bat azalduz. Biomasako bolatxoak eta adreilutxoak oso erabiliak dira herrialde askotan, hala garapen bidekoetan nola garatueta. Haien abantailak, nabarmenak dira: ingurumenean sortzen duten eraginaren aldetik, CO₂-ko isurketak neutroak dira, zeren botatako karbonoa fotosintesiaren bitartez atzemandakoa baita; bolatxoak oso txikiak direnez, haien garraioa eta bilketa nabarmen ahalbidetzen da; hezetasuna ezabatu zaienez, litekeena da denbora luzez bildu eta gordetzea, hein batean erregai fosilen salneurrien gorabeherak eta hegazkortasuna saihesten lagunduz; eta haien fabrikazioan hondakinak erabiltzen badira, horien deuseztatzerako alternatiba interesgarri bat gertatzen dira. Mota honetako biomasa oso erabilia da Austrian eta Eskandinavian. Austrian, adibidez, etxebizitzetan berokuntza hornitzeko hogeita mila sistema baino gehiago daude. Adituen arabera, EB-25ean 55 milioi tona biomasa dago eskuragarri, urteko, biomasako bolatxoak potentzialki egiteko¹³⁸.

Arrazoi hauengatik guztiengatik, biomasaren sektoreak etorkizunean handitzen jarraituko du indarrez, inbertsio handiak metatuz. Batzuen ustez, datorren hamarkadan sektorean egingo ei diren inbertsioak hemezortzi milioi dolarrekoak izango liriteke¹³⁹, gehienak -ia %80- eskala handiko -10 MW baino gehiagoko- zentral termikoen eraikuntzan,

138 Matthew Griffiths, "Pellets appeal. Where to now for the pellet market in Europe?", in RENEWABLE ENERGY WORLD, 2005eko martxo-apirila, 52-59 or.

139 Bruce Night eta Adam Westwood, "Global growth. The world biomass market", in RENEWABLE ENERGY WORLD, 2005eko urtarril-otsaila, 118-127 or.

elektrizitatea edota berokuntza hornitzeko.

Kostuaren aldetik, biomasa lehiakorra da, betiere petrolioaren prezioak maila altuetan jarraitzen badu. *Pellets for Europe*¹⁴⁰ programaren arabera, biomasa-bolatxoek kostua 52-164 €/tona tartean dago. Energia dentsitatea kontuan hartuz, kostua 128-405 €/tpb kokatuko litzateke, zeina 70 dolarretan saltzen den petrolio-upelaren maila berean -400 €/tpb- kokatzen den. Haiengandik sortutako energia elektrikoa ere, lehiakorra omen da, petrolioaren erabiliz sortutakoarekin alderatzean.

Espanian Plan de energías renovables delakoak 2010erako jarritako helburuak, 1,7 GW-ekoak dira, biomasatik sortutako energia elektrikoari dagokionez. Dokumentu horretan erabiltzen diren inbertsioen kostuak, honako hauek dira: 1 eta 6 MW-eko tartean berokuntza sortzen duten sistementzat, 73-282 €/kW -%80-90 errendimenduarekin-; energia elektrikoa sortzen duten 6 MW-eko sistementzat, 1.803 €/kW -errendimendua kasu honetan baxuagoa izanik, %21,6-; ikatzarekin baterako konbustioko sistemen kostuak, 856 €/kW omen dira. Zenbateko hauen arabera, berokuntza hornitzeko ez hainbeste, baina elektrizitatea sortzeko, sistema hauek inbertsioen beharraren aldetik lehiakortasunaren mugaren pixka bat gaineratik daude, oraindik, beste erregai fosilekin baterako errekuntza erabiltzen ez bada¹⁴¹.

Hala ere, biomasatik ateratako energiaren ustiapena ugaritzeko muga nagusia, baliabide energetikoen eskuragarritasun urrian datza. Azken buruko galdera, zera da: zenbat energia ematen du, urteko, landatutako eremu batek? Galdera hori erantzuteko, murgil

140 <<http://www.pelletcentre.info>>

141 Plan de energías renovables en España 2005-2010, 2005eko abuztua, IDAE, Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 189-229 or.

gaitezen biomasaren eskuragarritasunaren gaineko eztabaidan.

Zenbat energia dago eskuragarri, modu iraunkorrean, biomasaren bitartez? Gehieneko muga, biosferak atzematen duen kopura izango da. Hona hemen, hitzez hitz, Rabinowitch eta Govindjeek egindako kalkulua¹⁴²:

Biosferak urtean atzemandako eguzki-energia kopuru osoa, honako biderketa honek ematen du: $A \times B \times C$ kcal (kilokaloria), non eta A Lurraren azala jotzen duen eguzki-energia fluxua den, B landareek xurgatzen duten fluxuaren ehunekoa den, eta C , xurgatutako argitik, energia kimiko bihurtutako ehunekoa; $A = 5 \times 10^{20}$ kcal ($2,09 \times 10^{24}$ joule), $B \simeq \%30$, eta $C \%1$ inguru, guztira $1,5 \times 10^{18}$ kcal urteko ($6,28 \times 10^{21}$ joule, gutxi gorabehera 150 mila Mtpb). Haatik, faktore berberak itsas eta lurreko landareentzat erabiltzea nahiko zalantzarria da. Kalkulua lur eremu emankorrekin bakarrik egiten baldin badugu (hau da, Lurraren azaleraren $\%20$ gutxi gorabehera), 3×10^{17} kcal ($1,26 \times 10^{21}$ joule, 30 mila Mtpb) urteko atzemanda ateratzen dugu, 3×10^{10} tona karbono organiko sintetizatuari dagokiona. Balioa, lurreko uzten balioespenetan oinarritutako beste hori (...) baino pixka bat altuagoa da (2×10^{10} tona, arnas zuzenketa egin eta gero) baina magnitude-ordenarekin bat dator, zeina, espero ahal dugun bezain ona baita.

Smilek balioespen apalago bat eskaintzen digu, planetako biosferak urteko atzematen duen energiarako: 2×10^{21} joule, gutxi gorabehera 48 mila milioi tona petrolio baliokide¹⁴³, zeinak prozesu osoaren batez besteko efizientzia $\%0,2$ izatea baitakar. Prozesu fotosintetikoaren efizientzia, $\%0,2$ hori baino askoz altuagoa da baldintza egokienean:

142 E. Rabinowitch eta Govindjee, *Photosynthesis*, 1969, 39. or.

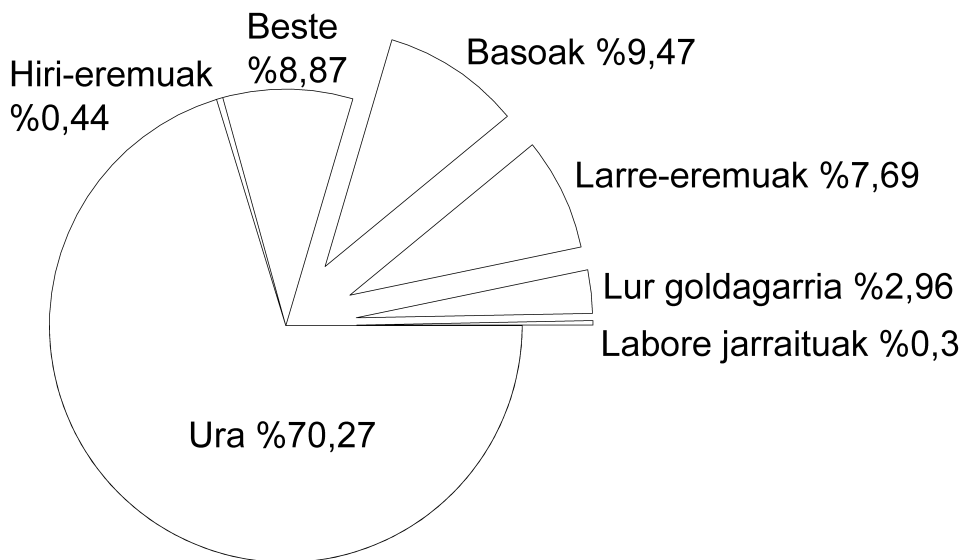
143 Vaclav Smil. *Energies. An Illustrated Guide to the Biosphere and Civilitation*, 1998, 44. or.

%34 inguru. Hala ere, kontuan hartu behar da fotosintesiak argi-izpien espektroaren zati zehatz bat baino ezin duela erabili, eta atzemandako energiaren zati garrantzitsu bat arnas prozesuetan bertan erabiltzen dutela landareek ere, beren bizi-jarduerak sustatzeko.

Lur eremuko biomasaren kasua besterik ez badugu kontuan hartzen, efizientzia netoa %0,6raino hazten da, oraindik %1 baino askoz gutxiago. Energia gehiena, munduko basoetan biltzen da; gutxiago, larre-eremuetan; eta ehunen erdi bat baino gutxiago, munduko laborantza-uztetan.

Suposa dezagun landa daitekeen planetako lur eremu guztiak erabiltzen direla biomasa landatzeko, hau da, Lurraren azaleraren %20,4 (ikus 34. irudia eta 24. taula): baso guztiak, larre-eremuak, eta abar. Laborantza energetikoki oso efizienteak erabiliko balira -demagun %1eko efizientzia batekin-, urteko, 40 mila milioi tona petrolio baliokide lor litezke. Egun, planetako biosferak urtean atzematen duen energia, horren antzekoa da. Horrelako baliabide energetikoak eskuratzeko, noski, urtero biomasa osoa uztatu beharko litzateke, aldi berean hurrengo urterako laborantza landatuz. Ezbairik gabe, eragina ingurumenean hondamendi hutsa izango litzateke, baina ariketa hau, esku artean dauzkagun magnitudeez jabetzeko besterik ez gara egiten ari. Munduan, berriz, 2005 urtean, 4 mila milioi tona petrolio baino gehiago kontsumitu ziren, hau da, biomasatik kasu baikorrenean atera daitekeen energiaren magnitude-orden ia berbera. Honek guztiak lagundu beharko liguke ulertzen, iraunkortasunaren aldetik, erregai fosilen kontsumo maila guztiz neurritz kanpoko delako.

Lurraren azalera



34. irudia. Lur planetaren azalaren banaketa, eremu eta erabileren artean.

Biomasa (batez besteko balioak)

Eguzkiaren potentzia dentsitatea	175 W/m ²
Biomasaren erradiazio-absortzioa	%30
Fotosintesiaren efizientzia netoa	%1
Lurraren azalera (milioi km ²)	510
Landa daitekeen eremua	%20,4

24. taula. Biomasaren potentzialitate energetikoaren

kalkuluetan erabilitako datuak.

Biomasaren erabilerak daukan potentzialitateaz jabetzeko, berriki Suedian plazaratutako dokumentu batek eskaintzen digu aukera paregabea. Suediako gobernuaren ekimenez,

2005eko amaieran jarri zen martxan herrialde horren petrolioarekiko mendekotasuna murrizteko programa bat garatuko lukeen batzorde bat. Batzordeak, 2006ko ekainean plazaratu zuen bere lehenengo txostena¹⁴⁴. Gure intereserako datu garrantzitsuenak, 25. taulan daude bilduta.

***Biomasaren ustiapen energetikoa,
Suediako 2050eko teknologia erabiliz***

<i>Suedia</i>		<i>Euskal Herria</i>
450 mila km ²	Azalera (milioi km ²)	20.947 km ²
20 biztanle/km ²	Dentsitatea	143 biztanle/km ²
26,6 milioi ha		
%53,2	Ustia daitekeen eremua	%60
23 milioi ha	Basoak	
3,2 milioi ha	Laborantza	
2,86 tpb/ha	Laborantza energetikoen produktibitatea	
2,01 tpb/ha	Basoen ustiapen intentsiboaren prod.	
0,73 tpb/ha	Batez besteko produktibitatea	0,73 tpb/ha
2,16 tpb/biz	Bioerregaien eskuragarritasuna	0,3 tpb/biz
6,0 tpb/biz	Kontsumo primarioa 2004an	3,3-4,4 tpb/biz

25. taula. Biomasaren ustiapenaren potentzialitatea Euskal Herrian, 2050erako Suedian aurreikusitako teknologiak erabiliz.

Aipatutako txostenak, aukera ezin hobea ematen digu aztertzeko, eskala handian, biomasaren ekoizpenaren produktibitatea zer-nolakoa izan daitekeen. Datu nagusiak ere, 25. taulan agertzen dira. Laborantza energetikoen ekoizpenetan lortutako produktibitateak, koltzako metil ester ekoizpenean emandako 0,6 tpb/ha eta sahatsetik ateratako biometanoaren 2,8 tpb/ha bitartean aurki daitezke. Suediako basoen ustiapen intentsiborako, emandako produktibitateak, 2 tona petrolio baliokide hektareako dira gutxi gorabehera; eta herrialde hartako ustiapen eremu guztiak baliatuko balira, lortutako batez

¹⁴⁴ *Making Sweden an OIL-FREE Society*, Commission on Oil Independence, 2006ko ekainaren 21a.

besteko produktibitatea hektareako 0,73 tpb liteke. Erreferentzia moduan, esan dezagun produktibitate horretan 7 litro/100 km-ko kontsumoko auto batek, urteko, 0,6 tpb/10.000 km edo 0,82 ha/10.000 km behako lukeela, bere kontsumoa biomasaren bidez estaltzeko. Greenpeace-en aipatutako txostenean¹⁴⁵ erabilitako produktibitateak, berriz, pixka bat altuagoak dira Espainiako kasurako: euri gutxiko eremuetan basoberaren ustiapenarekin lortutako 0,6 tpb/ha-tik, 10,1 tpb/ha-raino, labore ureztatueta.

Eskandinaviako herrialdearen kasura itzuliz, gogoratu behar dugu biomasaren ustiapena oso hedatua dela Suedian, dagoeneko. 2005ean, herrialde horretan biomasatik ateratako energia 8,1 milioi tona petrolio baliokide izan zen (0,9 tpb/biztanle). Eta gobernuak ildo horretatik jarraitu eta sakondu nahi du: 2050erako, aurrerakuntza egokiak egin eta biomasaren ustiapen eremuak handituz gero, aterako omen den energia 19,5 milioi tona petrolio baliokide izan liteke (2,17 tpb/biztanle). Zenbateko hori, 2004ko energia primarioaren %36 da, biztanleko 2 tpb baino gehiago ekarriz.

Suedian, 2004an petrolio kontsumoa biztanleko 1,7 tpb zen; urte berean biomasak ematen zuen ekarpen garrantzitsua kontuan hartuz gero (0,9 tpb/biz), konturatuko gara biomasa ez dela nahikoa petrolioarekiko mendekotasun osoa apurtzeko. Txostengileek ere argi daukate hori, eta horrexegatik biomasaren ustiapena bezain garrantzitsua jotzen dituzte energia eskaera murrizte alderako neurriak: petrolio kontsumoa errepide garraioan %40-50 murriztea, erregai eta motor efizienteagoak erabiliz; berokuntzan petrolioaren erabilera guztiz ezabatzea, azken 30 urteotan gertatutako ildoari jarraituz -kontsumoa %70 murriztu baita epe horretan-; eta sektore industrialean petrolio kontsumoa %25-40 murriztea. Ikusten denez, eskaeraren aldetik ere ahalegina egundokoa izan beharko da.

145 Greenpeace, *Renovables 2050. Un informe sobre el potencial de las energías renovables en la España peninsular*, 2005, 204 or.

Alabaina, Suediako esperientziak beste errealitate batzuetara ekarri nahi baditugu, oso kontuan hartzekoa da populazio dentsitatea herrialde hartan nahiko apala dela (20 biztanle/km²). Produktibitatea eta eremu ustiatuaren ehunekoa Euskal Herriko egoerara ekarriko bagenu -zeinak, zalantza barik, izugarrizko ahaleginak eskatuko lituzkeen ekonomia eta nekazaritza arloetan-, biztanleko 0,3 tona petrolio baliokide izango litzateke eskuragarri Euskal Herrian: 2004ko kontsumo primarioaren %10 inguru, 25. taulan azaltzen denez.

Suedian zuhaitz pilo, eta jende gutxi. Euskal Herrian berriz, baso anitz, baina are eta jende gehiago. Horrela izanda, biomasaren ustiapen intentsibo eta zabala gertatuz gero, gaurko energia kontsumo mailaren hamarren bat baino ezin genezake estali. %10 da zifra magikoa, eta ez hain magikoa: azken buruan, zenbateko horren bueltan baitabil biomasatik ateratako energiaren ehunekoa gaur egun, mundu mailako energia kontsumo primarioan. Hirugarren kapituluaren ikusi genuenez, alde batetik, energia primarioaren %10 ohizko biomasari dagokio; bestetik, ia beste ehunen bat batuz (%0,86), bero eta ur bero sortzeko erabilitako energia termikoaren %84, elektrizitate berriztagarriaren %27 eta bioerregaien %100 aterata dago biomasa iturburutzat daukaten baliabideetatik.

Eta azken baliabide horiekin jarraituko dugu gure analisia. Petrolioaren urritasun gero eta handiagoak estutuko gaituen mundu batean, guztiz funtsezkoak eta kritikoak gertatuko dira bioerregaiak, haiek baitira, egun, garraioan nonahi erabiltzen ditugun gasolina eta gasolioaren ordezkotuzen bakarrak.

Bioerregaiak, petrolioaren ordezkotuzen bakarrak

Bioerregaiak, biomasatik ekoizitako erregaiak dira. Kasu batzuetan era solidoan aurkituko

ditugu -biomasako *pellets* delakoak-, edo gas-egoeran -biogasa edo hidrogenoa-; alabaina, egun interesgarrienak era likidoan aurkituko ditugunak dira, nagusiki bioalkoholak eta biodieselak. Arrazoa, argia eta pisu handikoa da: barne-errekuntzako motorretan zuzen-zuzenean erabili ahal dira. Horrexegatik, aurrerantzean nagusiki bioerregai likidoei buruz arituko gara.

Bioerregaien erabilera automobilgintzan ez da batere berria, lehenengoa baizik. Izan ere, Rudolf Dieselek, bere izeneko motorra diseinatu, eraiki eta erabiltzen hasi zenean XIX. mendearen amaieran, kakahuete-olioa erabiltzen zuen erregai moduan. Era berean, Ford Konpainiaren lehenengo autoek bioetanola erretzen zuten beren motorretan. XX. lehenengo hamarkadan petrolioaren industria sortze egoeran zegoen oraindik, eta bioerregaiak petroliotik ateratako gasolina baino eskuragarriagoak ziren. Hala ere, usadio zahar horretara eutsi diote leku batzuetan, arrakasta handiz gainera. AEBetan *Indy Racing League* delako auto txapelketan, biometanola baino ez da erabili urte luzez, eta dirudenez 2007 urterako bakarrik bioetanola erabiltzen hasi dira. 70eko hamarkadako krisi energetikoak direla kausa, 80ko hamarkadan zehar herrialde batzuetan -nagusiki AEB eta Brasil- bioerregaien kontsumoa bultzatu zen, erregai fosilen erabilera murrizte aldera.

Esan dugunez, alde batetik biodiesela dugu. Petroliotik ateratako dieselaren ordezkotuzuzena, biodiesela olio-hazietatik ateratzen da, olioaren esterifikazio kimikoaren bitartez. Olio-landare nagusiak koltza, eguzki-lore, palma, akain-belar eta antzekoak dira. Sukaldaritzan erabilitako landare-olioak ere erabil daitezke prozesu horretan. Biodiesela diesel fosilarekin batera nahas daiteke, edo hura guztiz ordezkatu, diesel motorretan.

Beste aldetik, bioetanola dugu. Alkohol mota hori, nagusiki azukretan aberatsak diren

hazietatik sortzen da, fermentazioaren bidez. Bioetanolaren iturburu nagusiak honako hauek dira: binil alkoholak -edaten ditugun ardoetakoa-; azukretan aberatsak diren landareak -azukre-kanabera eta abar-; zerealak -almidoitan aberatsak-; eta zelulosa -belarra, eta orokorrean landareen zuntzak-. Hala ere, teknologikoki askoz zailagoa -eta energetikoki garestiagoa- da bioetanola almidoi eta zelulosatik ekoiztea, azukre eta beste alkohol guztietatik baino. Bioetanola nahas daiteke gasolinarekin batera; hala ere, nahastean proportzioa %15 baino handiagoa baldin bada, gasolina arrunterako diseinatutako motorrak moldaketa ttipiak beharko ditu.

Printzipioz, biodiesel eta bioetanolaren ezaugarri fisiko-kimikoak gasolio eta gasolinaren antzekoak dira. Ordezkoak direnez, banaketa sare bera erabil daiteke kontsumitzailearengana helarazteko. Ikuspuntu ekonomiko baten aldetik, kontu hau funtsezkoa eta giltzarria da, bioerregaien erabilera ugaltzeko.

Ingurumenarekiko begiruneari dagokionez, bioerregaiak abantaila garrantzitsuak dakartzate. Berriztagarriak direnez, ez dute negutegi-efektua bultzatzen duen CO₂-ko isurketarik sortzen. Biodiesela ez du SO₂-ko isurketarik sortzen -zeinak, atmosferako ur-lurrunarekin erreakzionatzean euri azidoa sortzen duen-, eta bioetanolak gasolinak baino karbono monoxido gutxiago sortzen du. Gainera, petrolioan -eta ondorioz gasolinan eta dieselean- aurki daitezkeen substantzia asko -metal astunak, beste hidrokarburo eta aromatiko batzuk, eta abar- bioerregaietan ez dira agertzen. Bioerregaiak oso erraz biodegradatzen dira, eta balizko itsas garraioko hondamendi batean isuritakoak, arraintzako janaria baino ez lirateke izango.

Bioerregaien ekoizpenak eskatzen duen maila teknologikoa oso altua ez denez¹⁴⁶, biodiesel eta nagusiki bioetanolaren ekoizpena ez da mugatu herrialde garatuetara. 2004an munduan 14,5 Mtpb ekoitzi ziren (31 mila milioi litro), nagusiki AEBetan eta Brasilen. AEBetako ekoizpena, sendo diruz lagundutako zerealen ustiapenean oinarritzen da; Brasilekoa, aldiz, azukre-kanaberaren laborantzan, klima tropikalak nabarmen lagunduta. Txinan ere, ekoizpena handia da.

Biodieselaren ekoizpena, berriz, bioetanolarena baino askoz apalagoa da. 2004an 2,1 Mtpb bioetanol (2,2 mila milioi litro) ekoitzi zen, nagusiki Alemanian. Hala ere, Malasian eta Indonesian ere palma-oliotik ateratako biodieselaren ekoizpena zabaltzen ari da¹⁴⁷.

Egun, dagoeneko, herrialde askotan kontsumitzen den gasolina, bioerregaiekin nahastuta dago: Brasilen nahastearen %25 da bioetanol; Kanadan %7 baino gehiago; Txinan %10. AEBetan 2010ean %4 eta 2030ean %20 izatea nahi dute. EBn, esana dugunez, 2010ean gasolinaren kontsumo osoaren %5,75 izan beharko da bioerregaiena.

Hala eta guztiz ere, bioerregaiak badauzkate alde ilunago batzuk ere. Ingurumenaren aldetik, esan dugunez, bioerregaien ekoizpena printzipioz neutroa da; baina biomasa ekoizteko ustiapenean ez dauden eremuak erabiltzen badira, horrek kostu batzuk dakartza: biodibertsitatea galdu, higadura handitu, baita CO₂-ko isurketa berri batzuk ere -azken batean, nekazaritzak sortzen dituen ordain guztiak, bereziki ustiapen eredua oso

146 Hala ere, zelulosatik bioerregaiak egiteko teknologiak garapen bidean daude, oraindik: 2010-15erako espero da teknologiko eta ekonomikoki eskuragarri izatea, eta funtsezkoak izango dira bioerregaien sektorea elikagaien ekoizpenarekiko lehian ez sartzeko.

147 REN21 Renewable Energy Policy Network. 2005. "Renewables 2005 Global Status Report" Washington, DC: Worldwatch Institute, 10 or. eta N9 eta N10.

intentsiboa bada-. Gainera, oso garrantzitsua da bioerregaiak *nola ekoizten diren*. Zentzu horretan, erreferentziazkoa da AEBetako ekoizpen eredua. Han, bioetanola omen da “urre beltz” berria: berriztagarria, CO₂-ko isurketen aldetik neutroa, eta bertokoa. Ala ez? IEEE Spectrum aldizkarian berriki plazaratutako artikulu batean, baieztapen horiek zalantzan jartzen dira¹⁴⁸. Dirudenez, AEBetan sortzen ari den bioetanol askok, artotik ateratakoa izateaz gain, lignittoa -kalitate baxuko ikatza- hartzen du ekoizpen prozesuan. Kontua da bioetanola sortzeko prozesua, energetikoki, ez dela musu-truk ateratzen. Artoa bioetanol bihurtzeko, energia behar da, eta AEBetako fabrika batzuetan ikatza erabiltzen ari dira. Soilik etekin ekonomikoetara begirako ikuspuntu baten aldetik, jokaldia ez da txarra: horrela, autoen tangetan sartu ezin den ikatza gasolina bihurtzen da, AEBetako petrolioarekiko mendekotasuna murriztuz; ikatza eta artoa AEBetan ugariak eta merkeak direnez -eta nazioarteko merkatuak esku daude behar den artoa lortzeko-, ekonomikoki prozesua errentagarria da. Hala ere, energetikoki eta ingurumen eta iraunkortasunaren aldetik, deskalabrua da hori: prozesuan ikatza sartzean energia balantzea nabarmen okertzen da, negutegi efektuko CO₂-ko isurketak sortzen dira, eta gainera beste herrialde batzuetan elikagai moduan kontsumitzen den artoaren gaineko tentsio jasangaitzak sortuz.

Alabaina, arazo nagusia zera da: bioerregaiak ezin dute erregai fosilen kontsumo osoa ordezkatu. Bioerregaien ekoizpenak, eremu zabalen nekazaritza-ustiapena eskatzen du; larriagoa dena, elikagaien ekoizpenarekin lehiatuz, elikagaiak baitira eremu produktiboenetan ustiatzen direnak.

148 “Loser: Corn-o-copia. Extravagant subsidies and low coal prices have made for some strange ethanol projects”, in IEEE Spectrum, 2007ko urtarrila, 22-24 or.

	<i>Ekoizpena, Erregaiak 2004an</i>
Gasolina, munduan	830 Mtpb
Ethanol munduan, nagusiki Brasil eta AEBetan	14,5 Mtpb
Biodiesel munduan, nagusiki Alemanian	2,1 Mtpb
<i>Landare-olioen ekoizpena, munduan</i>	<i>70 Mtpb</i>
<i>Espainiako gasolina-kontsumoa</i>	<i>7,7 Mtpb</i>
<i>Espainiako gasolio-kontsumoa</i>	<i>28 Mtpb</i>
<i>Espainian, garraiorako kontsumoaren %5,75</i>	<i>2,1 Mtpb</i>

26. taula. Bioerregaien ekoizpena, munduan.

Ekoizpen kostuen aldetik, bioerregaiak lehiakorrek dira, gutxienez ia beste energia berriztagarri guztiak baino lehiakorragoak, beti ere petrolioaren kostu ekonomikoak maila altuan mantentzen badira. Espainiako Plan de energías renovables dokumentuaren arabera, biodieselaren kostua 50 cent/litro litzateke¹⁴⁹; IDAEk landutako beste txosten batzuen arabera, bioetanolaren kostua ere tarte berean legoke. Hala ere, iturrien arabera bioerregaien kostuak gora eta behera mugitzen dira, zenbateko horien bueltan. Gainera, oso kontuan hartzekoa da haiek egiteko behar diren lehengaien kostuek hegazkortasun handia erakusten dutela, askotan. Hori bai dela arazo garrantzitsu bat, gutxienez arlo teknologikoan aurki daitezkeenak baino pisu handiagokoa, eta laborantzarako eremu behar handiarekin oso lotuta. Azken batean, hori da arazo eta muga nagusia: garraiorako erregaien ordeztu zuzenak dira, baina eskaera estaltzeko gaitasuna oso murrizta da. 26. taulan erakusten denez, landare-olioen munduko ekoizpena 70 Mtpb inguruan dabil, garraioan gasolinaren munduko kontsumoaren hamarren batera heltzen ez dena, baino espero daitekeenez lur eremu zabalak eskatzen duena.

¹⁴⁹ Plan de energías renovables en España 2005-2010, 2005eko abuztua, IDAE, Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 255 or.

Zein da, hain justu, bioerregaien ekoizpenaren produktibitatea? Beste dokumentu batzuetan oinarrituta APPAk emandako datuen arabera¹⁵⁰, bioetanol eta biodieselaren ekoizpenaren produktibitatea 1,2 eta 5 tpb/ha tartean leudeke. Alabaina, dokumentu horretan ez da zehazten produktibitate horiek kasu altuenetan netoak diren ala ez, kontuan hartu behar delako laborantza eta ekoizpen prozesuan -ureztatze prozesuetan, laborantzan, garraioan eta abar- energia kontsumoak ere badaudela. Suediako gobernuak maneiatzen dituen datuak¹⁵¹ produktibitate netokoak dira. Haietan, garitik ateratako bioetanolarena 0,6 tpb/ha da, eta biometanolarena 0,6 tpb/ha. Beste txosten batean¹⁵², gariko bioetanolari 2,5 tpb/ha ematen diote, eta koltzako biodieselari 2 tpb/ha. Europako Batzordeak bultzatutako beste txosten batean¹⁵³, koltzatik ateratako biodieselari 0,9-1,3 tpb/ha-ko produktibitatea ematen diote. Euskal Herrian ere, bioerregai ekoizpenaren esperientzia batzuk egon, badaude, Ipar Euskal Herriko Laborantza Ganbararen inguruan hain zuzen. Iparraldeko laborariak maneiatzen dituzten datuen arabera¹⁵⁴, haiek ekoiztako biodieselaren produktibitatea hektareako 0,8 eta 1,2 tona petrolio baliokide bitartean legoke.

Edonola ere, produktibitatea faktore askoren mende dago: klima, zoruaren ezaugarriak, teknologia eta abar. Kasu baikorrenean emaitza energetikoa hektareako 2 eta 3 tona petrolio baliokideren artean kokatzen da, beti ere landa-eremu onenetan. Bioerregaien efizientzia netoa nahiko baxua da -fotosintesiarena %1 baino ez baita-.

Datu hauek guztiak kontuan hartuta, zera daukagu: Nafarroa Garaiko laborantza eremu

150 *Una Estrategia de Biocarburantes para España (2005-2010). Adaptación a los objetivos de la Directiva 2003/30/CE*, APPA eta Pricewaterhouse Coopers, 2005eko ekaina, 21 or.

151 *Making Sweden an OIL-FREE Society*, Commission on Oil Independence, 2006ko ekainaren 21a, 21. or.

152 <<http://www.biodiesel.co.uk/levington.htm>>

153 *BIOMASS. Green energy for Europe*, Europako Batzordea, 2005, 35-36 or.

154 "Produire de l'huile-carburant et du tourteau à la ferme", in Laborari, 2006ko ekainaren 29a, 729. zenbakia, 4-5 or.

guztiak -hau da, 3.000 kilometro karratu, Nafarroako eremuaren ia %30- 2 tpb/ha-ko produktibitate batekin erabiliko bagenitu bioerregaiak ekoizteko, 0,6 milioi tona petrolio baliokide eskuratuko genuke. Aldi berean, 2004an, EAEn, erregaien garraio-kontsumoa 1,7 milioi tona petrolio baliokide izan zen. Izan ere, EAeko erregai fosilen kontsumo osoa ordezkatzeko ia Nafarroa Garaia halako hiru beharko genituzke -eta barka nazaten nafarrek, EAeko inperialismo baldartzat har daitekeen adibide huts honengatik!-.

Energia geotermikoa eta itsas energia

Antzinetik ezaguna eta erabilia da, adibidez termetan edota berokuntzan, energia geotermikoa. Elektrizitatea sortzeko, 1913an jarri zen martxan Larderellon (Italia) lehenengo sorkuntza instalazioa, sumendi batetik ez oso urrun. Gaur egun, 76 Estatuan erabiltzen da energia geotermikoa: ur bero eta berokuntza hornitzeko, baita Elektrizitatea sortzeko ere. Islandian, energia geotermikoak berokuntzako beharren %85 asetzen du, eta energia elektrikoaren %17 sortzen du. Tibeten, ehunekoa %30-eraino heltzen da. 2004an, Elektrizitatea sortzeko potentzia ahalmena ia 9 GW-ekoa zen, eta ur bero eta berokuntza hornitzeko, 28 GW-ekoa¹⁵⁵.

Energia fluxu geotermiko berriztagarria leku batzuetan erabilgarria -eta erabili beharrekoa- izan arren, orokorrean eskuragarritasuna mugatua da. Baieztapen hori, harrigarria irudituko zaio bati baino gehiagori. Pentsa dezagun fluxu geotermikoa dela energia zenbateko izugarriak askatzen eta tartean sartzen dituzten fenomeno geologiko askoren atzean dagoena: lurrikarak, sumendien erupzioak, eta nagusiki plaka tektonikoen mugimenduak, zeinek Pirinioak, Himalaia eta antzeko mendikateak milaka urtean zehar

155 John Lund, "Ground heat. World wide utilization of geothermal energy", in RENEWABLE ENERGY WORLD, 2005eko uztail-abuztua, 254-260 or.

sortu dituzten. Fluxu geotermikoaren potentzia 40 terawattekoa da, eta urtean zehar fenomeno geologiko horien guztien barruan sartzen den energia, 1.260 exajoule da¹⁵⁶. Eman dezagun teknologikoki bideragarria litzatekeela fluxu energetiko horren hamarren bat eskuratzea -bakarrik hamarren bat, zeren kontinenteek mugitzen jarraitu behar dute eta!-. Guztiz helezin eta baikorregia -ezinezkoa, azken batean- litzatekeen egoera horretan, lortutako 126 exajoule ez zatekeen nahikoa izango munduan komertzialki kontsumitzen den energia primario osoa ordezkatzeko (450 exajoule), ezta petrolioaren kontsumoa ere (178 exajoule).

Adibide xume hau baliotsua izan beharko litzateke beste behin azalarazteko energiaren urritasunarekin lotutako arazoak ez daudela balizko eskaintza eskas baten aldean, baizik eta -nagusiki- egundokoa den eskaeraren aldean.

Itsasoko ur mugimenduetan sartuta dagoen fluxu energetikoa ere itzela da, benetan. Adibide moduan, Ozeano Atlantikoko itsaslasterraren potentzia, tropikoan, 1 petawattekoa da, planeta osoaren fluxu geotermikoa halako hogeita bost. Hala ere, haize energiarekin gertatzen den modu berean, eskuragarritasuna askoz mugatuagoa da.

Hala ere, aspalditik ezaguna eta erabilia da itsas energia. Marea-errotak, adibidez, ezagunak dira leku askotan. Egun, munduan 300 MW-eko potentzia dago instalatuta, elektrizitatea sortzeko. Mutrikuko portu kanpoko aldean, Energiaren Euskal Erakundeak 480 kW-eko sistema bat eraiki nahi du, 27. taulan erakusten diren ezaugarriekin. Ikusten denez, instalazio hauen potentzia maila 1 megawatt azpitik dago, eta kostuak eta produktibitatea, energia berriztagarrien artean ilararen amaieran kokatzeko modukoak

156 Vaclav Smil, *Energies. An Illustrated Guide to the Biosphere and Civilitation*, 1998, 21-31 or.

dira. Gainera, ingurumen-inpaktua ez litzateke batere gutxiesgarria izango, bereziki fluxu berriztagarri honen ustiapen intentsiboa burutuko balitz.

Olatuen energia Mutrikun

Potentzia elektrikoa	480 kW
Sortutako energia, urteko	970 MWh
Karga-faktorea	%23
Inbertsioa	3,5 M€
Kostua	7,3 €/W

27. taula. Mutrikuko itsas energiako instalazioaren ezaugarriak.

(Itur.: Energiaren Euskal Erakundea)

Honaino fluxu berriztagarri nagusien analisia. Alabaina, ezin dugu kapitulu hau bukatu 2005eko azaroan plazaratutako txosten interesgarri baten aipamen bat egin barik, zeinaz, gainera, hurrengo kapituluaren sarrera moduko bat egiteko baliatuko garen.

2005eko amaieran, Greenpeace erakundeak sustatuta Comillas-eko Unibertsitateko Instituto de Investigación Tecnológica delakoak Espainia penintsularraren potentzial berriztagarriari buruzko txosten bat plazaratu zuen. Txosten hori, balizko krisi energetikoaren, eta energia berriztagarriek erregai fosilen urritasun eta energia prezioen gorakadari eskaintzen dieten alternatibaren gaineko eztabaidan sartzen da, bete-betean. Txostenaren ideia nagusia, energia berriztagarrien garapenerako gaitasuna oso handia dela da, eta gizarteak esku hartu behar duela haiek bultzatzeko, beste fluxu ez-berriztagarri eta askoz kutsakorrago askoren alternatiba moduan.

Txostenak oinarri zientifiko eta tekniko sendoak dauzka, orokorrean –eguzki-tximiniari buruzkoa, baina, nahiko eztabadagarria da-. Alabaina, txostenak dakarren baieztapen

batzuek, eta batik bat haren gainean sortutako publizitate-kanpainiak, nolabaiteko ahulezi eta errealitatetik urruntze bat erakusten ditu.

Honaino erakusten saiatu garenez, egungo eredu energetikoaren krisia gero eta larriagoa da. Datozkigun arazoak egundokoak dira, baita ere suposatzen badugu aldaketa klimatikoren arazorik ez dagoela -zoritxarrez, gertatzen ez dena-. Petrolio eskaeraren gorakadak amaigabea dirudi. Sistema ekonomikoak energia gehiago behar du hazkunde ekonomikoa suspertzeko. Horregatik, instituzio, erakunde eta sektore askok irtenbidea eskaintza politiken aldetik etorriko dela pentsatzen dute, energia iturburuak beste berri batzuetara zabaldu eta dibertsifikatuko direla figuratuz. Fisiozko energia nuklearra herrialde askotan bigarren maila batera pasatuta, zentzuzkoa dirudi pentsatzeak eskaintzaren gehikuntza bakarrik energia berriztagarrietatik etor daitekeela, gainera kontuan hartuta erregai fosilen agorpena eta ingurune-inpaktua direla eta, ordezkatzeko prozesu bat gertatu beharko dela. Hala eta guztiz ere, sektore batzuetatik -ezbairik gabe asmo txalogarri eta onenarekin- batzuetan akats propagandistiko bat egiten da: energia berriztagarriak behin betiko irtenbide global moduan aurkeztea, errealitatetik oso urrun dagoena. Munduko etorkizun energetikoa berriztagarria da -iragana zen modu berean baina kontuz!!, energia berriztagarriak alternatiba dira bakarrik energia kontsumo maila zorrozki murriztuko den heinean, eta energia kudeaketa eta garraioko beste eredu bateranzko trantsizio gogor baten ostean, zeinari buruz oraindik gutxi dakigun.

Aurrerantzean, Greenpeace-en txostenarekiko ñabardurak azaltzen saiatuko naiz.

Txostengileek, oso egoki jokatzen, irizpide kontserbadore baten aldeko apustua egin dute, teknologia berriztagarriak aztertzerakoan: “[txostena] egun eskuragarri dagoen teknologia

onenetik hasita egin da, eta azken buruan kontsideratutako epean zentzuz eskuragarri egongo diren aurrerakuntza teknologikoak gehituz, baina beti ere irizpide kontserbadore bat mantenduz, zeinak 2050ean teknologia horien eskutik espero daitekeen garapenaren gutxieneko kuota batera eramango gaituen¹⁵⁷. Energia berriztagarrien potentzialtasunari buruz, txostenak zehazki zera esaten digu: “sorkuntza ahalmenaren goiko kuota horrek 2050ean elektrizitatearen eskaera penintsularra halako 56,42 irudikatzen du¹⁵⁸”.

Txostenak ez du esaten “energia berriztagarriek estali ahal izango lukete”, baina hala eta guztiz ere, ausartegia da. Faltsua izan gabe, irakurketa desinformatuak eta distortsionatuak ahalbidetzen ditu, adibidez *El Mundo* egunkariak jaso zuenaren antzekoa, zeinak txostenaren berri ematean zera esan baitzuen bere edizio elektronikoan: “energia berriztagarri eta ez kutsakorrek espainiarrek 2050ean kontsumituko duten energia elektrikoa halako 56,42 hornitu ahal izango lukete¹⁵⁹”. Beste baieztapen hau askoz larriagoa da. Gauza bat da txostenean aztertzen diren fluxu berriztagarri guztien batuketara egitea, eta beste bat pentsatzea potentzialitate oso hori burutu ahal dela. Txostena arretaz irakurritz gero, ikusiko dugu potentzial osoa burutzeak lurraldearen %100 eskatuko lukeela: eguzki-kolektoreak ia eraikuntza guztietan jartzea, beste alde batetik eraiki ezin liratekeenak, zeren eremu osoa panel fotovoltaiko eta aerosorgailu instalatzeko, eta biomasa laboratzeko erabiliko beharko bailitzatekeen; aerosorgailu erraldoiak kostalde osoan zehar jartzea; eta abar¹⁶⁰.

157 *Renovables 2050. Un informe sobre el potencial de las energías renovables en la España peninsular*, Greenpeace, 2005, 11. or.

158 *Ibid.*, 14. or.

159 2005eko azaroaren 23an, *El Mundo* egunkariaren orrialde elektronikoan agertutakoa, “Las energías renovables podrían abastecer 56 veces la demanda de electricidad de España en 2050”.

160 *El Mundo* egunkaria ez zen amuari lotu zitzaion bakarra: energiaren arloan ere, *Nuevas Tecnologías* aldizkariak honako hau utzi zuen idatzita: “El uso de renovables podría abastecer 56 veces toda la demanda de electricidad proyectada en España en 2050” (*Nuevas Tecnologías*, 2006ko otsaila, 6. or.). Gure artean, Roberto Bermejo irakasleak ere, *El Correo* egunkarian honako hau idatzi zuen, iritzi artikulu batean: “el Instituto de Innovaciones

Alabaina, Greenpeace-ek bultzatutako txostena ez da horretan geratzen, zera baieztatzen baitu: “potentzia gaitasunentzat eskuratutako emaitzak ikusita, interesgarria kontsideratu zen emaitzak energia osoaren hornikuntzara zabaltzea. Helburu horrekin energia osoaren eskaera-eszenatoki bat garatu da, eta eskaera hori energia berriztagarrien sorkuntza ahalmenarekin erkatu da, *eskaera eta sorkuntza ahalmenaren arteko egokitzean energia bektorea zein izan beharko litzatekeen xehetasunetan sartu barik*”¹⁶¹. Emaitza zera da: “[sorkuntza berriztagarriaren potentziala] 2050erako penintsulako energia osoaren eskaera halako 10,36 da”¹⁶². Potentzial oso-osorik burutzeko ezintasuna alde batera utzita, txostengileak oin-puntetan -”sin entrar en detalles”- pasatzen dira mamitsua den beste kontu baten gainetik: behar den energia bektorea. Jarrera hori, alabaina, bateraezina da irizpide teknologiko kontserbadore batekin. Egun, krisi handi baten atarian dagoena ez da bakarrik petrolioa, baizik eta energia bektore funtsezkoena: erregai fosilak. Herrialde garatuenetan, energia elektrikoaren sorkuntza eta eskaintzaren arteko doiketa -sare elektrikoaren erregulazioa- erregai fosilen zentraletan sortzen denaren erregulazioaren bitartez egiten da. Beste aldetik, garraio sektorearen zati handi batek petrolioa behar du ibilgailuetan kontsumitzen dena biltzeko. Energia berriztagarriek, oraindik, ezin dute erregai fosilen erabilera guztiak ordezkatu: energia biltzea eta sorkuntzaren erregulazioa egitea, eskala handian. Txostenak iradokitzen du hidrogenoa erabil litekeela energia bektore moduan, baina xehetasunetan sartu barik. Eta nahiko logikoa da xehetasunetan ez sartzea, zeren hidrogenoari buruzko eztabaida energiaren arloan aurki daitezkeen gai korapilatsuenetako bat baita.

Tecnológicas ha presentado este año un exhaustivo informe (promovido por Greenpeace) sobre el potencial de energía renovable en la España peninsular, y concluye que éste es más de diez veces superior a la demanda total de energía prevista para 2050” (El Correo, 2006ko urriaren 16a).

161 *Renovables 2050. Un informe sobre el potencial de las energías renovables en la España peninsular*, Greenpeace, 2005, 12. or. Etzanak gureak dira.

162 *Ibid.*, 14. or.

Erregai fosilen urritasuna nagusi litzatekeen balizko mundu batean erabiliko genukeen energia bektorearen arazoa azaltzeko, eta hidrogenoaren teknologiak izango lituzkeen papera eta potentzialitatea argitzeko, seigarren kapituluan murgil gaitzen.

6. ENERGIA BEKTOREAREN ARAZOA

Lehenengo kapituluan esan genuenez, energia, materiaren egoerarekin lotuta dagoen zerbait da. Salbuespen garrantzitsu eta nabarmen batzuk alde batera utzita -Eguzkiaren erradiazio elektromagnetikoa hutsean zehar hedatzen baita-, energia garraiatzeko eta bereziki biltzeko, materia beharrezkoa da.

Zentzu horretan, energia bektorea (*vector energético*, *energy carrier*) zera da: energia, leku batetik bestera eramateko edota energia bildu eta gordetzeko erabiltzen den sistema fisikoa edo substantzia.

Energia bektore asko daude, ezaugarri oso anitzekoak, baita haien artean osagarri, eta askotan kontrajarriak ere. Energia bektoreen artean aniztasun handia aurkituko dugu: erregai fosil guztiak (petrolio, ikatza, gas naturala), konposatu erradiaktiboak (uranioa eta beste), presetan bildutako ura, betidanik erabili den egurra eta beste bioerregai, Naturan era naturalean eskuragarri ez den baina egun guztiz erabilia den elektrizitatea, bateria elektrikoak, haizea eta beste fluxu berriztagarriak, aire konprimitua, malgukiak -gogora ditzagun giltzako erloju guztiak-, hidrogenoa, eta abar.

Energia bektoreen betekizun batzuk nabarmenki garrantzitsuak dira. Sare elektrikoaren funtzionamenduaren erregulazioa, adibidez, ezinbestekoa da egungo gizartean, azkeneko kontsumoan elektrizitateak zati funtsezko bat eramaten baitu. Eginkizun hori, zentral termikoetan erretzen diren erregaiak eta presa hidroelektrikoetan bildutako urak betetzen dute. Garraio sektorean -tren elektrikoaren kasua alde batera utzita, horiek sare elektrikoari lotuta baitaude beti- mota anitzetako erregaiak erabiltzen dira energia gordetzeko. Energia

bektoreak, orokorrean, ez dira elkarren ordezeko zuzenak, haien ezaugarriak oso bestelakoak direlako. Beraz, ikusten denez, energiaren kudeaketaren analisi batean, energia bektorearen analisia ezinbestekoa da.

Zeintzuk dira, egun, energia bektore nagusiak? Alde batetik, erregai fosilak ditugu. Haien barruan sartzen dira petrolioa, gas naturala, eta ikatza. Bestetik, elektrizitatea dugu, eta konposatu erradiaktiboak. Baliabide hidrikoak -presetako ura- eta bioerregaiak ere baditugu, izaera berriztagarri batekin. Aurrerantzean, energia bektoreen analisi bat egiten saiatuko gara, hurrengo puntu hauetan arreta jarritz: ekoizteko gaitasuna; energia biltzeko gaitasuna; energia garraiatzeko gaitasuna; erabileraren efizientzia; garbitasuna; bideragarritasun teknologikoa.

Laburtuta, analisiaren emaitzak 28. taulan erakusten dira.

	<i>Petrolioa</i>	<i>Gasa</i>	<i>Ikatza</i>	<i>Uranioa</i>	<i>Elektrizitatea</i>	<i>Bioerregaiak</i>	<i>Hidrogenoa?</i>
Sortu	Erreserben arabera ?	Erreserben arabera ?	Erreserben arabera ?	Erreserben arabera ?	erraz	Erraz baina gutxi ?	?
Bildu	+++	+++	++	---	---	+++	?
Garraiatu	+++	++	+	---	+++	+++	?
Erabili (efizientzia)	+++	+++	+++	+++	+++	+++	?
Garbitasuna	--	-	---	---	+++	+++	?
Bideragarritasun teknologikoa	+++	+++	+++	+++	+++	+++	?

28. taula. Energia bektoreen erkaketa.

Erregai fosilak. Erregai fosilak ez dira berez sortzen. Haien sortze prozesua, epe luze-

luzeko prozesu geologiko ezagunek eraginda dago. Eskuragarritasuna, beraz, erreserben arabera izango da, eta beti haien mendean. Hala ere, erregai fosilak abantaila nabarmenak dituzte. Orokorrean oso erraz bildu eta garraiatzen dira, bereziki petrolioaren deribatuak eta gas naturala; ikatzaren erabilera, berriz, haren izaera solidoak kasu batzuetan murrizten du. Horrela, gasolina eta gasolioa ezinbestekoak dira errepideko garraioan, eta gasbideen bidezko gasaren banaketa, kostuen aldetik, merkeenetariko bat da.

Ingurumenarekiko begirunearen ikuspuntutik, eragin nabarmena dute. Haien artean ere, alde handiak daude, CO₂-ko eta metal astun eta besteen isurketa handiak eragiten dituen ikatzetik, eragin askoz murriztagoa duen gas naturalaren kasuraino -hala ere guztiz bazterrekoa ez dena, gas naturalaren kasuan ere-. Edonola ere, haien erabilera masiboak klima aldaketan eta kutsaduran eragin nabarmena du.

Ezaugarri fisiko-kimiko eta dentsitate altuak lagunduta, erregai fosilen erabilera teknologikoki oso garatuta dago, eta efizientziaren hobekuntzaren aldetik eta ingurumen- inpaktu murrizketaren aldetik hobekuntzak oraindik etorriko diren arren, egun, haien ustiapen kostuak -erregaien salneurriak egungo mailetan mantentzen badira- lehiakorrenak dira.

Konposatu erradiaktiboak. Energia nuklearraren erabilera, uranio eta beste material erradiaktiboen erreserben mende dago. Haien erabilera, erregai fosilena baino askoz murriztagoa da, bakarrik elektrizitatea sortzeko erabiltzen baita. Elektrizitatearen sorkuntza nuklearraren funtsa, konbentzionala da: atomoen fisioak bero sortzen du, eta horrek, ura edo baporea turbina batetik pasarazten du, elektrizitatea sortuz. Egun, munduan, 384 GW

daude instalatuta, 436 zentraletan. Horiek, energia primarioaren %6,5 ekoizten dute, eta kontsumitzen den elektrizitatearen %16.

Fisiozko energia nuklearrak ez du CO₂ isurtzen. Kostuak lehiakorrek omen dira (1-2 cent/kWh), baina betiere ingurumenarekiko kalteak kenduta, zeinak kasu askotan izugarriak diren -ikusirik besterik ez dago Txernobilgo istripuak sortutakoak, edota etorkizun hurbilean zentral zaharren deuseztatzeak ekarriko dituenak-.

Teknologia oso garatua eta efizientea da, baina arazo asko konpontzeke daude, ziur aski inoiz konponduko ez direnak: erabileraren hedatzeak arma nuklearren ugaltzea ekar dezake; hondakin erradioaktiboen arazoak konponezin jarraitzen du -hondakinak lur azpitik pilatzea besterik ez dago-; horregatik guztiagatik, herri askotan, gizarte zibilaren kontrako jarrera, irmoa eta zabala da. Fisiozko energia nuklearrak etorkizun nahiko iluna dauka, eta prospekzio guztiek, etorkizunerako, erabilera murrizta aurreikusten diote: 2030ean, %5 (IEA) eta %10 (WETO, EB) bitartean.

Elektrizitatea. Elektrizitatea, petrolioarekin batera, egungo energia bektore nagusia da. Lehenengo kapituluan ikusi genuenez, sarearen bidezko banaketa oso efizientea da, eta motor elektrikoak -eta orokorrean elektrizitatearekin elikatzen diren dispositibo elektronikoak- efizienteenatarikoak dira. Elektrizitatearen erabilerak ez du ingurumenkalteak sortzen -elektrizitatearen sorkuntza beste kontu bat da, noski-. Gure gizartea elektrizitatearen erabileran dago oinarrituta, eta ez dirudi etorkizunean gauzak aldatuko direnik. Elektrizitateak, bektore nagusi bat izaten jarraituko du. Hala eta guztiz ere, elektrizitateak badu eragozpen nabarmen bat: ez dago elektrizitate biltzerik, eskala handian. 3. taulan ikusi genuenez, elektrizitatea biltzeko erabiltzen diren bateriak arruntan

energia-dentsitatea oso apala da. Horrek haien erabilera eremu askotan eragozten du, erabileraren ikuspuntutik erregai fosil eta elektrizitatearen arteko desberdintasun nagusia argi eta garbi utziz.

Erregai fosil likidoak energia bektore moduan ezin hobeak dira. Haien izaera likidoak, giro-temperaturan, haien bilketa eta leku batetik bestera pasatzea errazten ditu. Izaera likido horren garrantziaz ez gara ohartzen, petrolioaren deribatu likidoekin gehiegi ohituta gaudelako, ziur aski. Hainbeste, askotan ahazten baitugu atzean dagoena. Adibide moduan, har dezagun kontuan egun guztiz arrunta den jarduera bat: autoaren erregaitanga gasolinaz betetzea. Autoz bidaiatzen direnek normaltasun osoz aldizka egiten duten hori, pentsatzen duguna baino mamitsuagoa da. Tanga betetzen ari garenean energia biltzen ari gara; zeina geroago autoaren motorrak erreko duen, autoa mugiarazteko. Gasolinaren energia dentsitatea (29 megajoule litroko), tangaren bolumena (50 litro) eta betetzeak normalean eskatzen duen denbora (1,5 s/l) kontuan hartuta, kalkula daiteke prozesuaren energia transferentzia-tasa: 20 megawatt inguru. Hain arrunt zaigun prozesu horren potentzia, 20 MW da. Auto elektriko batean gauza bera egiteak, kontuan hartuta elektrizitatea eskala horretan ez dagoela era efizientean biltzerik, elektrizitatea nonbait momentu berean sortzea eskatzen du, potentzia berarekin -tarte berean egin nahi bada, behintzat-. Gure gasolindegia elektriko bihurtu nahi izango bagenu, izugarritzko potentziak haren atzean bildu beharko genuke. 20 MW-eko potentzia elektrikoa lortzeko, munduko lau parke fotovoltaiko handienak beharko genituzke, gehieneko potentzian funtzionatzen, edo Bizkaiko Oiz mendian dagoen parke eolikoa -25,5 MW eta 30 aerosorgailu- bezalako bat.

Argudia daiteke gasolina-hornigailuek ez dutela etengabe gasolina isurtzen, eta erregai

hornikuntzaren batez besteko potentzia askoz apalagoa dela. Era berean, gehieneko potentzia murrizteko, depositua betetzeko tartea luzatu baino ez dugu behar: hamarrez biderkatzen bada, beharrezko potentzia hamarren batera murrizten da. Hala ere, horrek ere ondorioak dakartza, ez baitzaigu batere debalde ateratzen beharreko denbora hamarrez biderkatzea. Azken bateko kontua zera da: baliabide energetikoak erkatzerakoan energia kopuruak baino gauza gehiago hartu behar dira kontuan, askotan gauza oso sinpleak eta ohikoak, baina balio garrantzizkoak.

Eta zelan moldatzen da fluxu berriztagarrietatik sortutako elektrizitatea? Aurreko kapituluaren erakusten saiatu denez, elektrizitate berriztagarria fluxu berriztagarrien mendean dago, biomasatik sortutakoa izan ezik. Batzuentzat, hori ez da arazoa:

[...] egia da energia berriztagarriak aldizkakoak direla, baina hori puzten da. Eguzki-erradiazioa gehienekoa da eguerdiko orduetan, energia eskaera handiena denean hain zuzen. Gainera, iturrien arteko osagarritasun handia dago: hilabete hotzenetan energia hidrauliko eta eolikoaren sorkuntza maximoak gertatzen dira; hilabete epeletan, eguzki-erradiazioa da maximoa. Beste iturri berriztagarri batzuk ere kontuan hartzeak, hala nola biomasa, olatuena, geotermikoa eta abar, energia hornikuntza are eta uniformeago bat bermatzen du¹⁶³.

Nire uste apalez gauzak ez dira hain errazak, eta hori frogatzen saiatu naiz aurreko kapituluaren fluxu berriztagarri askoren analisisian. Sare elektrikoaren erregulazioa sorkuntza berriztagarrien bitartez egiteak zera eskatuko luke: egundoko inbertsio berriak sorkuntza sisteman, eta banaketa eta erregulazioa egiteko beste sistema bat, gaurkoa

163 Roberto Bermejo, "La revolución de las energías renovables" in *El Correo*, 2006ko urriaren 16a.

baino askoz interkonektatuagoa, iturri eta baliabide askoren arteko oreka -uniformetasun-oso zail bat lortze aldera. Azken batean, sorkuntza elektriko eta banaketa sistema ulertzeko eta kudeatzeko beste paradigma bat, gaur eskuragarri ez daukaguna.

Bioerregaiak. Bioerregaiak -eta orokorrean biomasa-, garapen iraunkorreko gizarte batean, erregai fosilak ordezkatzeko ezinbestekoak izango dira, momentuz, erregai fosilen ordezeko zuzen bakar-bakarrak baitira. Baina aurreko kapituluan ikusi dugunez, bioerregaien eskuragarritasuna gaurko erregai fosilen erreserbena baino askoz murriztagoa da. Bioerregaien erabileraren mugak ez dira ez ekonomikoak, ezta teknologikoak ere: fisikoak dira, ekonomialari askok behin baino gehiagotan ahazten dituztenak.

Hidrogenoa. Batzuek -Rifkinek-eta- diote hidrogenoa, etorkizuneko energia bektorea izango dela. Beste batzuen ustez, ordea, hidrogenoan oinarritutako gizarte baten bideragarritasun teknikoak ez dago batere argi. Hidrogenoaren gaineko eztabaidari eskainiko diogu kapitulu honen gainerakoa.

Hidrogenoaren teknologia

Hidrogenoa energia bektore moduan, erregai-pilaren erabileran oinarritzen da. Printzipioz, hidrogenoa/erregai-pila bikoteak abantaila nabarmenak ditu. Erregai-pila, hidrogenoaren energia kimikoa energia elektriko bihurtzen duen dispositiboa da. Prozesuan konbustiorik ez dagoenez, erregai-pilaren efizientzia-muga barne-errekuntzako motorrena baino altuagoa da, %75 gutxi gorabehera. Hidrogenoaren energia kimikoa elektrizitate bihurtzen duen konbertsioaren hondakin bakarrak ur eta bero dira, eta hortaz, ingurumen-inpaktua hutsaren hurrengoa da.

Arlo teknikoan, baina, zalantza handiak daude ea hidrogenoa/erregai-pila bikotearen erabilera masiboa posible izango ote den, gutxienez epe motzean. AEBetako DOEren Zientzia Bulegoaren txosten tekniko batek, adibidez, zera zioen orain dela ez hainbeste:

Gaurko erregai fosilekin ekonomikoki lehiakorak izateko, erregai-pilen kostua hamarrenera gutxienez murriztu behar da, eta hidrogenoa ekoiztearen kostua laurdenera. Gainera, hidrogenoaren teknologiaren efizientzia eta fidagarritasuna izugarri hobetu behar dira. Aurrerapauso inkremental hutsek, gaurko egoera teknologikoan, ez dute balio arraila saihesteko. Itxaropen bakarra zera da: oinarrizko ikerkuntzako epe luzerako arrisku-altuko/etekin-handiko programa berritzaile bat [...] Programa horren helburuak ezin dira izan eboluzio-aurrerakuntzak, baizik eta hidrogenoa eta materialen arteko interakzio kimiko eta fisikoak ulertzeko eta kontrolatzeko lorpen iraultzaileak¹⁶⁴.

Ikusten denez, hidrogenoaren teknologiak behar omen duena ez da bakarrik aurrerakuntza, iraultza baizik. Aipatutako txostenaren egiteak, AEBetako gobernuak bultzatuta, arloan dauden munduko lehen mailako zientzialari eta aditu asko bildu zituen, 2003an. Haren helburuak, ikerketarako oinarrizko beharrak eta aukerak hidrogenoaren sorkuntzan, biltegitratzean eta erabileran identifikatzea, emergente eta bereziki erronka handikoak diren teknologiei arreta berezia eskainiz. Dokumentuak hidrogenoaren arloko egungo teknologia-egoeraren berri ezin hobea eskaintzen digu, arazo nagusiak azaleratuz, eta etorkizunean espero daitekeenaren berri zehatza eskainiz. DOEren txostenak lau erronka ezartzen ditu, aurrerantzean aztertuko ditugunak.

164 *Basic Research for the Hydrogen Economy*, Office of Science, U.S. Department of Energy, 2003eko maiatza, ix. or.

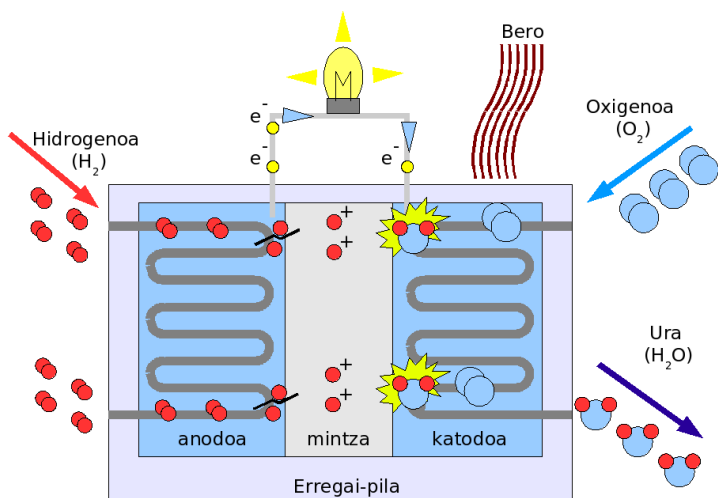
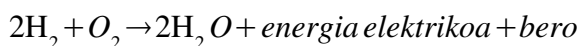
Erregai-pilen kostua murriztu

Zer da erregai-pila? Printzipioz, erregai pila aspalditik ezaguna den dispositiboa da, zeren Sir William Grovek 1839an asmatu baitzuen. Alabaina, lehenengo prototipo bideragarriak ez ziren martxan jarri pasa den mendeko 50eko hamarkadaraino, NASAn, espazio-ontzietan energia elektrikoa sortzeko.

Funtsean, erregai-pila bi elektrodoz osatutako pila elektrokimikoa da, zeinen artean ioiak eroaten dituen euskarri bat -mintza- dagoen. Bitarteko euskarriaren izaera, likidoa edo solidoa izan daiteke. Haren ezaugarriak aldatuko dira, funtzionamendu tenperatura, prestazio edota erregaiaren izaeraren arabera -erregaia ez bakarrik hidrogenoa, baizik eta baita metanoa eta etanol ere izan baitaiteke-.

Erregaia erregai-pilaren elektrodo batera sartzen da (35. irudian, ezkerreko elektrodora). Han, erregaia oxidatu egiten da. Erregaia hidrogenoa bada, oxidazio prozesu horretan atomo bakoitzeko protoia eta elektroia banantzen dira. Partikulak bananduta, beste elektrodoraino heltzen dira, baina bide desberdinetatik: protoia, bitarteko euskarriaren bitartez eroaten da, beste elektrodoraino heldu arte. Elektroiek, berriz, bi elektrodoak konektatzen dituen kanpoko zirkuitu elektriko baten bitartez egiten dute bidaia, korrante elektrikoa sortuz. Bigarren elektrodoan, protoia eta elektroia, elektrodora sartzen den oxigeno molekulekin batera, berriro elkartzen dira, ur molekulak sortuz, hondakin bakar moduan.

Prozesu elektrokimiko honetan elektrodoen arteko tentsio alde bat sortzen da, zeinak kanpoko zirkuitu elektrikoan elektroien korrontearekin batera potentzia elektrikoa sortzen duen.



35. irudia. Erregai-pila baten diagrama.

Erregai-pilen funtzionamendua oso simple izanik -bere funtsa XIX. mendekoa baita-, atzean dauden elementu batzuk oso kritikoak eta korapilatsuak dira. Alde batetik, prozesuan konbustiorik gertatu ez arren, bero ere sortzen da, funtzionamenduaren efizientzia murriztuz. Alabaina, erregai-pila batzuen funtzionamenduak temperatura altuak behar ditu, eta martxan jartzeko “beroketa” moduko bat behar dituzte, sistemaren funtzionamendua baldintzatuz eta oztopatuz, adibidez, erregai-pilak etenka funtzionatu behar badu. Beste alde batetik, elektrodoen funtsa sinplea izan arren -hidrogeno molekuletan elektroioak protoietatik bereiztea-, haien funtzionamendu optimoa kritikoa eta zaila da benetan, zeren bereizketa egiteaz gain, erregai eta hondakinen joan-etorriak erraztu behar baititu. Egoera optimoan funtzionatzen duten elektrodoak egitea erronka handia da. Temperatura baxuko erregai-piletan nanopartikulaz osatutako material bereziak erabiltzen dira elektrodo moduan, zeinetan oso garestia den platinoak pisu nabarmena daukan. Egundoko aurrerakuntza izango litzateke platinoaren ordezkero merkeago bat aurkitzea; hala ere, oso zaila dirudi holakorik lortzea. Azkenik, erregaia metanoa -gas

naturala- edo etanola bada, elektrodo batean CO₂-ko molekulak ere sortuko dira, erregaia biomasatik ateratakoa ez bada ingurumen-inpaktu ez-neutro bat sortuz.

Erregai-pilek hidrogeno molekuletan bildutako energia kimikoa energia elektriko bihurtzen dute, zuzenean. Konbertsio elektrokimiko horretan konbustiorik ez dagoenez, prozesuak errekuntzan gertatzen direnak baino konbertsio efizientzia askoz altuagoak ahalbidetzen ditu. Hala ere, oztopo larriak daude erregai-pilen ugaritzea gerta dadin. Erronka nagusienak, askoz fidagarriago, iraunkorrago eta merkeagoak izango diren materialen premian dautza, mintza eta katalizatzaile berrien aurkikuntzan, nagusiki. Hidrogenoarekin ez ezik, beste erregai batzuekin ere funtzionatzeko gai izango diren teknologiak finkatzea ere garrantzitsua izango da, bereziki hidrogenoaren erabileran oinarritzen den beste energia-sistema baterantz trantsizio leun baten bitartez lortu nahi bada, epe motz eta ertainean gas naturala eta etanola bezalako erregaiak erabiliz, erregai-pilen erabilera masiboa sartuz, hidrogenoaren ustiapen zabala gertatu baino lehen. Zentzu horretan, bereziki garrantzitsua litzateke garraioan erabil daitekeen erregai-pilen teknologia autoen motorretan txertatzea, gas naturala edota etanola erabili arren, horrek nabarmen murriztuko bailituzke petrolioarekiko mendekotasuna eta CO₂-ko isurketak.

I+Gko azken urteotako ahalegin nagusiek bi teknologiatan jarri dute arreta: tenperatura baxuko eta tenperatura altuko erregai-pilenetan.

Tenperatura baxuko erregai-pilen teknologiak (80°C inguru), garraio sektorea du helburu. Garraio sektoreko kontsumo ezaugarriek -bolumen eta pisu mugatuen behar, konbertsio efizientzia, abio arinen behar eta geldialdi luzeek- *protoi trukeko mintzeko* teknologia (Proton Exchange Membrane, PEM) jartzen dute bideragarrienen artean. Hala ere, haren

kostu ekonomikoa oso altua da: kilowatteko 3.000 dolar, masako produkzioan ekoitziz gero 100 dolarreraino jaitsi ahal izango litekeena, baina orduan ere 35 \$/kW-eko barne-errekuntzako motorraren kostuetatik urrun. Kostu altuetan platino beharra da errudun, hein handi batean. Gainera, materialen iraunkortasuna, momentuz, oso mugatua da, zeina, garraio sektoreko kontsumo ereduarekin guztiz bateraezina den.

Temperatura altuko erregai-pilen teknologia (800°C baino gehiago), berriz, oxido solidoen erregai-pilen teknologian oinarritzen da, eta aplikazio eta sorkuntza finkoei begira dira pentsatuak, nagusiki. Teknologia honetan, oxido solido bat erabiltzen da oxigeno ioia katodotik anodora eroateko. Funtzionamendu tenperaturak oso altuak direnez, instalazio finkoetan baino ezin dira erabili pila hauek; hala ere, horrek abantaila garrantzitsu batzuk dakartza: efizientzia altuagoak -%85 lortzea espero da-; beste erregai batzuk erabiltzeko bideragarritasuna; sortutako beroa baterako sorkuntzan erabiltzeko bideragarritasuna -sistemaren guztizko efizientzia are eta gehiago handituz-; eta bizi-iraupen luzeagoak. Hala ere, aurrerakuntzarako beharrak garrantzitsuak dira: kostu ekonomikoak, materialen korrosioa, gehiegizko bolumenak, jokaera kaskarra ziklo termikoak gertatzen badira -pilak karga faktore altuan eta era egonkorrean funtzionatzen ez badu-, eta abar.

Azken batean, erregai-pilen teknologia guztien arazoak nahiko antzekoak dira: kostu altuak, fidagarritasun eta iraupen kaskarra, eta errendimendu mugatuak funtzionamendu baldintza onenak betetzen ez badira. Adituen aburuz, erregai-pilen erabileraren ugaltze masibo bat lortu nahi bada, aurrerakuntzak oraindik egundokoak izan beharko dira.

Hidrogenoa modu merkez sortzen duten teknikak garatu

Gogoratu behar dugu hidrogenoa, azken batean, erregai bat baino ez dela, eta sortu

behar dela. Garapen iraunkorreko gizarte batean, hidrogenoa sortzeko energia berriztagarrien bitartez daukagu aukera bakarra -eguzki-hidrogenoa deiturikoa, edo hidrogeno berriztagarria-, horrek dakartzan mugekin batera -aurreko kapituluetan ikusitakoak-.

Hidrogeno berriztagarria sortzeko, bi bide nagusi daude. Lehenengoa, elektrizitate berriztagarria erabiliz elektrolisiaren bitartez hidrogenoa sortzea -funtsean erregai-pilen funtzionamendu kontrakoa-; bigarrena, Naturan aurki daitezkeen fenomeno biologikoen bitartez: nagusiki fotosintesia, eta ur molekulen haustura fotobiologikoa, zeina beren jarduera metabolikoen bitartez hidrogenoa sortzen duten mikrobio fotosintetiko batzuegan gertatzen den.

Elektrizitate berriztagarritik hidrogenoa sortzea guztiz bideragarria da. Hala ere, bi muga agertzen zaizkigu. Alde batetik, elektrolisiaren efizientzia netoa %75 da. Elektrolisia fluxu berriztagarrietatik sortutako elektrizitatearekin elikatu behar da, eta ondorioz balizko sistema osoaren efizientzia netoa are eta gehiago murrizten da: zelula fotovoltaikeen efizientzia %15 eta elektrolisiarena %75 badira, sistema fotovoltaikeok sortutako elektrizitatea erabiliz elektrolisiaren bitartez hidrogenoa sortuko lukeen sistemaren efizientzia netoa %11,25 izango litzateke. Beste aldetik, aurreko kapituluaren fluxu berriztagarrientzat ikusitako eskuragarritasunarekiko mugak baliozkoak dira hidrogenoa sortze aldera ere.

Era naturalean sortutako hidrogenoari dagokionez ere, eskuragarritasunaren mugak joratu ditugu aurreko kapituluaren bitarteko teknologikoak, printzipioz, nahiko sinpleak izan arren -azken batean izaki bizidunak dira energia atzematen eta konbertitzen dutenak-,

tartean sartuta dauden efizientziak apal-apalak dira: laborantza energetikoen konbertsio efizientzia %0,4 baino ez da; eta alga batzuegan gertatzen den fenomeno biofotolitikoaren efizientzia %5eraino igotzen da, baina bakarrik baldintza zehatzen pean. Adituen ustez, baliabide horien ustiapen masiboak ingeniarietza genetikoan aurrerapen nabarmenak eskatuko ditu.

DOEren txostenaren arabera, watterko 0,2 dolarreko kostuak dira beharrezkoak, zeinek egungo teknologia berriztagarri askoren bideragarritasun ekonomikoa nabarmenki murrizten duten. Beraz, hidrogenoaren sorkuntza ugaltzeak teknologia askoren aparteko merkatzea eskatuko du.

Hidrogenoa bildu eta garraiatzeko metodo bideragarriak aurkitu

Puntu hau funtsezkoa izango da garraio sektorean. Hidrogenoaren energia dentsitatea oso altua da, 114 MJ/kg, petrolioarena halako hiru, kasik. Baina hidrogenoa gasa denez, edukiontzi bat erabili behar da gordetzeko; horrela izanda, sistema osoaren energia dentsitate netoa begi-bistaz jaisten da: 0,8 MJ/kg-raino, bi magnitude-orden baino gehiago. Gainera, hidrogenoaren manipulazioa ez da batere erraza. Gas arinena denez, gas-hodietatik ihes egiteko beste edozein gasek baino erraztasun handiagoa dauka; horri gehitu behar zaio hidrogenoak metalak hauskortzeko gaitasun eta joera daukala, baita altzairua ere¹⁶⁵. Energia dentsitate altuagoak lortze aldera hidrogenoaren likidotzea aukeratzen bada, temperatura oso baxuak behar dira prozesuan: -259,14°C, zero absolututik 14 gradura, eta gas naturalaren likidotze tenperaturatik askoz beherago -ia ehun gradu-.

165 Hidrogenozko atomoak txiki-txikiak direnez, oso ezaguna da hidrogenoak material guztietan zehar barreiatzeko daukan erraztasuna. Siliziozko zelula fotovoltaikoen fabrikazioan, adibidez, gaitasun hori erabilia da materialaren ezpurutasunak pasibatzeko, horrela zelulen efizientzia hobetuz.

Hidrogenoa modu eraginkorren biltzea, eta gero askatzea, giltza izango da balizko hidrogenoko ekonomia batean. Hidrogenoa energia eroale moduan era malguan erabiltzeak, edozein momentutan soberan sortutakoa biltzea eskatzen du, geroago eta beharbada beste leku batean energia eskari bat gertatzen denean erabiltzeko, edota garraioan energia saretik era deskonektatuan eta etenka kontsumitzeko. Azkenik, hidrogenoaren metaketa funtsezkoa litzateke etenaketa izaera edo bistako izaera ziklikoa duten energia berriztagarrietatik sortutako energia kudeaketa egiteko.

Aurrean dauzkagun beharrak, printzipioz, bi multzotan bereiz daitezke: alde batetik garraio sektorean hidrogenoaren erabilera erregai moduan, eta bestetik aplikazio egonkorretan hidrogenoa erabiliko luketen instalazioak. Azken hauekin hasiz, esan dezagun etxebizitzetan berokuntza hornitzeko edota sare elektrikoan energia elektrikoa injektatzeko erabiliko liratekeela instalazio egonkorak, nagusiki. Sistema egonkorak izanik, tamaina handikoak izan litezke, eta funtzionamenduaren tenperatura eta presioa optimizatu ahal litezke errendimendua hobereana izan dadin, eta galerak gutxienekoak.

Modu eraginkorren hidrogenoa biltzeko, bi bide nagusi daude: presio altuan gasa konprimitu, edo tenperatura oso baxuan likidotzea. Hidrogenoa konprimitzeko erabiltzen diren prozesuetan energia kontsumitzen da, hidrogenoaren eduki energetikoaren %10 inguru, hain zuzen. Likidotze prozesuetan heldu behar diren tenperatura oso baxuek energia gehiago eskatzen dute, ia heren bat. Likidotzeak bakarrik hidrogenoko kantitate handiak errepidetik garraiatu behar direnean dauka zentzurik. Hala ere, era likidotuan ere energia dentsitatea gasolinarena baino baxuagoa da: gasolinako zisterna-kamioi batean garraiatzen den energia kopuru bera hidrogeno likidotu moduan garraiatzeko, tara bereko ia bost kamioi beharko lirateke; eta 200 atmosferako presioan konprimitutako hidrogenoa

garraiatuz gero, hogeita bi kamioi lirateke beharrezko¹⁶⁶. Hidrogenoaren energia dentsitatea altua izan arren, hura biltzeko behar diren ontzi eta mantentze sistemak, petrolioaren deribatuenak baino askoz astunagoak dira.

Hidrogenoaren erabilera garraioan, hortaz, askoz kritikoagoa da, eta bereziki metaketari dagokionez. Hidrogenoa erregai moduan kontsumituko luketen autoen autonomia maila onargarri batean mantendu nahi bada, funtsezkoa da auto barruan hidrogeno bilketaren gaitasun altu bat lortzea, baina aldi berean biltegiratze sistemaren pisua txiki mantenduz. Eta gauzak ez dira batere errazak. Gorago esan dugunez, hidrogenoaren energia dentsitatea ez da hain altua presio altuan botiletan gordetzen denean, betiere gasolinarena baino askoz baxuagoa. Hidrogeno likidotua garraioan erabiltzea ez da oso bideragarria, gutxienez auto arruntetan, beharrezko tenperaturak zero absolututik oso hurbilekoak baitira. Gainera, biltegiratze sistemak kontsumoak eskatzen duen erritmoan behar du hidrogenoa hornitu; beste aldetik, berriro betetzeko prozesua ere, zentzuzko denboran egin behar da. Azken puntu hau, auto elektrikoekin gertatzen den modu berean, ez da batere gutxiesgarria, AEBetako DOEren *FreedomCAR* programak hidrogenoaren biltegiratzeari ezartzen dizkien helburuek adierazten dutenez: gaurko teknologiarekin, auto baten biltegiratze sistema hidrogenoz betetzeko, 25 minutu behar dira, eta 2015erako, 6 minututik jaitea litzateke helburua. Kontua ez da inolaz ere erraza. Kontura gaitezen hidrogenoaren transferentzia akoplamendu hermetikoko baldintzatan gertatu behar dela, gasolindegietan gasolinarekin gertatzen ez dena.

Hidrogenoa era solidoan biltzeko teknologiak -beste konposatu solido batzuek xurgatuta edo haiekin konbinatuta-, oraindik, gas-egoeran edo era likidotuan biltzen duten

166 Ulf Bossel, *On the way to a sustainable energy future*, Intelec '05, Berlin, 2005eko iraila.

sistemengandik oso urrun daude. Era solidoan egindako hidrogenoaren transferentzian, garraioa eta biltegiatzea erraztearen truke, lortutako energia dentsitateak askoz baxuagoak dira. Adituen aburuz, nanoteknologia eta nanomaterial berrien ikerketek asko esateko izango dute, arlo honetan.

Hidrogenoaren banaketa-sare seguru bat garatu

Segurtasunari dagokionez ere, hidrogenoaren erabilera masiboa den balizko mundu batean azaleratuko litzaizkigukeen arazoak ez lirateke inolaz ere gutxiesgarriak. Esan dugunez, hidrogenoak joera nabaria dauka metalak hauskortzeko; horri gehitu behar zaio ihes egiteko erraztasun handiena daukan gasa dela -metano edota airearena halako hiru, hain zuzen-. Metanoa, propanoa eta gasolina baino sukoiagoa izanik -gainera erretzen denean, beste erregaiekin gertatzen denaren kontra, sugarra ez da ikusten-, bakarrik bere arintasunak bultzatutako barreiatzeko joera handiak gutxitzen du eztanda gertatzeko arriskua, hein batean, eta bereziki gune zabaletan. Portaera eta jokabide nahiko desberdina daukan hidrogenoaren erabilera masiboak, kontrol eta segurtasun sistema, prestakuntza eta arreta neurri guztiz berriak eskatuko ditu, bereziki toki itxietan.

Hidrogenoaren erabilera ugaltzeak, ezinbestez ekarriko du atmosferara isurtzen den hidrogenoaren zenbatekoa handitzea. Egun, hidrogenoaren isurketa iturri nagusiak naturalak dira alde batetik -sumendiak, baso-suteak, substantzia batzuen desegite fotokimikoa eta abar-, eta nagusiki, bestetik, erregai fosilen konbustioan askatutako hidrogenoa. Adituen aburuz, hidrogenoa energia bektore moduan erabiltzeak isurketen bikoiztu edo hirukoiztea ekarriko luke. Hidrogenoa berotegi efektuko gasa ez dela jakin arren, ikusteke dago zein litekeen tamaina horretako isurketen handitzearen ingurumen- inpaktua, hidrogenoak atmosferaren oxidazio gaitasunean, ozono estratosferikoan eta

beste negutegi efektuko gasen gainean eragina baitauka. Ikerketa lan garrantzitsuak arlo honetan ere izango dira guztiz beharrezkoak. Zein izan daiteke hidrogeno antropogenikoaren eragina Naturan, edota klima aldaketan? Ikusteke dago. Beharbada onargarria, baina oraindik ezin ziurtatu.

Ikusten denez, balizko hidrogeno ekonomia errealitate bihurtzeak, arlo askotako aurrerakuntza teknologiko iraultzaileak eskatuko ditu: erregai-pilen fabrikazioan, hidrogenoaren biltegitratzean eta abar. Eta horiek guztiak lortuta, orduan kostuak beharko dira aztertu, ez baitago batere argi hidrogenoaren erabileran oinarritutako sistema hori merkea izango denik.

DOEren txostenak ez ditu modu zehatz batean balizko hidrogenoaren ekonomia baten kostuak balioesten, ez ekonomikoki, ezta energetikoki ere. Beste txosten batzuk, berriz, balioespen moduko bat egiten saiatzen dira. Alemaniako Fraunhofer-ISI institutuak egindako txosten batean¹⁶⁷, energia iturri desberdinetarik sortutako hidrogenoaren kostu ekonomiko eta energetikoak adierazten dira. Iturri fosilak eta nuklearra dauzkan hidrogenoa alde batera utzita -txostenak hidrogenoa sortzeko 26 bide desberdinen kostuak eta efizientziak aztertzen ditu-, txostenaren arabera hidrogenoa sortzeko modu efizienteena, energia eolikotik elektrolisi eta likidotzearen bitartez hidrogeno likidotuarena izango litzateke, ia %75eko efizientzia batekin -txostenak energia katean hidrogenoaren garraioan gelditzen da, eta ez du erregai-pilen efizientzian sartzen-. Kostua, ordea, nahiko altua izango litzateke: 18 cent/kWh H₂. Kostu baxuenak emango lituzkeen aukera, biomasaren gasifikazioaren bidez sortutako hidrogenoarena litzateke, 6,23 cent/kWh H₂-ko

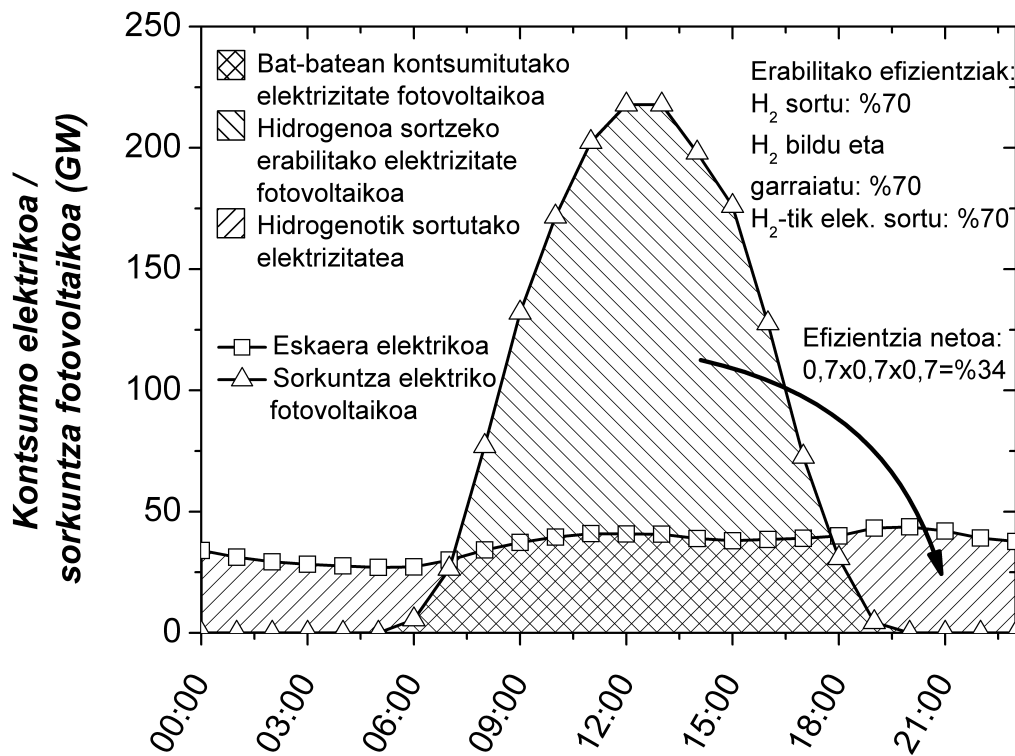
167 Mario Ragwitz eta al., *Introduction of alternative transport fuels in the European Energy Market: Techno-economic barriers and perspectives. Work package D: Hydrogen*, AFTEEM ESTO STUDY, Fraunhofer-ISI, 2003ko iraila.

kostuekin, eta %70,4ko efizientziarekin. Baina aukera hori, biomasaren ustiapen masiboaren mugak alde batera utzita, bioerregaien ekoizpenarekin lehiatuko litzateke. Ipar Afrikan energia termoelektrotik elektrolisiaren bidez hidrogenoa sortu, eta gero likidotuta itsasontziz Europara ekartzeak efizientzia altuarekin egingo litzateke, %75koarekin, baina baita kostu oso altuekin ere: 27,64 cent/kWh H₂.

Ikuspuntu pixka bat ezkorragoa eskaintzen digu Ulf Bossel adituak¹⁶⁸. Energia katean hidrogenoa sartzen denez, energia katea nabarmen luzatzen da, funtsean beste hiru kate-maila gehiago sartuz: hidrogenoa sortzearena, hidrogenoa bildu eta garraiatzearena, eta hidrogenotik azken kontsumo energetikoa sortzearena -berriro elektrizitatea erregai-pila baten bidez sortuz, berokuntza hornituz, eta abar-. Bosselen aburuz, balizko hidrogenoko ekonomia batean hiru kate-maila horiek sartzen dituzten galerek efizientzia netoa %20-25ean utz dezakete. Kate-maila bakoitzari %70eko efizientzia ematen badiogu, elektrizitate berriztagarritik hidrogenotik pasatuz berriro beste une edota beste leku batean -beharbada ibilgailu batean- elektrizitatea sortzeko efizientzia netoa %34 izango litzateke.

Ehuneko horren osagarria, $100 - 34 = 66$, hidrogenoa energia bektore moduan erabiltzeko kostu energetikoa litzateke, eta guztiz funtsezkoa sorkuntza berriztagarri bateko balizko sistema elektriko batean. Hidrogenoa erabiltzen bada sorkuntza elektrikoaren erregulazioa egiteko -eguerdiko orduetan sistema fotovoltaikoen bitartez edo haize bolada handiak daudenean haize-turbinen bidez sortutako energia elektriko, geroago gauean, edo haizerik ez dabilenean, kontsumitu ahal izateko-, orduan hidrogenoaren erabilerak sorkuntza instalazioen gairdimensionatzea eskatzen du, derrigorrez.

168 Ulf Bossel et al., *The Future of the Hydrogen Economy: Bright or Bleak?*, <<http://www.efcf.com/reports>>, 2003ko apirila.



36. irudia. Espainiako kontsumo elektriko osoa energia fotovoltaikoarekin estaliko lukeen sistemaren sorkuntza-profila, egun batean, hidrogenoa energia bektore moduan erabilia.

Adibide moduan, 36. irudian erakusten dugu gairidimentsionatze hori zenbatekoa litzatekeen, egun tipiko batean -2. irudian erakutsitakoa hartu dugu- Espainiako kontsumo elektriko osoa energia fotovoltaikoarekin estali nahi izango bagenu. Ohizko eguzki-irradiazioaren profila erabiliz¹⁶⁹, erraz kalkulatu da sorkuntza fotovoltaikoaren profila. Horrela kontsumo osoaren %52 estali ahal izango genuke zuzen-zuzenean, goizeko zazpietatik arratsaldeko seiataraino. Hala ere, gaueko kontsumoari aurre egin ahal izateko, elektrizitate berriztagarriaren %72 hidrogenoa sortzera bideratu beharko genuke. Horrek, gairidimentsionatze nabarmen bat eskatuko luke: %91 gehiago, hidrogenotik

169 1989ko apirilaren 22ko profila, *Atlas de Radiación Solar del País Vasco*, Energiaren Euskal Erakundea, 1998ko uztaila, 25. or.

pasatzeko kostuak kontuan hartzen ez dituen sistemarekin alderatuta.

36. irudian islatutako sistema elektrikoa, alegiazko ariketa bat baino ez da. Hala ere, kontuan hartzekoa. Han, egun barruko orekatzea eta sorkuntza fotovoltaikoa hartu dira kontuan, bakarrik. Urtaroen arteko oreka beharrak ez luke gutxituko gairidimentsionatzea. Epe motz-motzeko aurreikuspenak jasaten dituen energia eolikoa eta erregulazioa egiteko potentzialtasun oso mugatua daukan energia hidroelektrikoa¹⁷⁰, ez dirudi gairidimentsionatze hori nabarmenki murrizteko gai izango liratekeenik. Edonola ere, harrigarriena zera da: ze erraz ahazten den kontu bat dela hau.

Greenpeace-en txostenak Espainiako energia elektrikoaren kontsumo osoa energia berriztagarrien bitartez estaliko lukeen sistema proposatzerakoan¹⁷¹, txostengileek %78ko gairidimentsionatze bat proposatzen dute, hau da, sorkuntza elektrikoaren erregulazio eta garraiatze sistemaren efizientzia netoa %58an balioetsiz. Balio hori ez dago txostenean arrazoituta. Larriagoa dena, Espainiako energia kontsumo osoa energia berriztagarrien bitartez estaliko lukeen sistema bat proposatzerakoan, erregulazio eta garraiatze sistemaren efizientzia netoa, harrigarriki, %80raino igotzen dute, horrelako efizientzia altuak lortuko lituzketen teknologiei buruzko zehaztapenik eman gabe.

Greenpeace-ek Espainian 2005ean plazaratutako txostenaren aldean, elementu neurтуagoak agertzen ditu Greenpeace-en beste txosten batek¹⁷². Greenpeace

170 Espainian kontsumitzen den energia hidroelektrikoa, energia elektriko osoaren %8,6 baino ez da. Gainera, baliabide hidrikoen beste erabilera batzuk ere oso garrantzitsuak dira: giza-kontsumoa, nekazaritza eta abar, eta ezinezkoa litzateke baliabide guztien kudeaketa sare elektrikoaren erregulazioaren mendean bakarrik uztea.

171 Greenpeace, *Renovables 2050. Un informe sobre el potencial de las energías renovables en la España peninsular*, 2005, 250-253 or.

172 *Energy [r]evolution. A SUSTAINABLE WORLD ENERGY OUTLOOK*, Greenpeace International eta European Renewable Energy Council (EREC), 2007ko urtarrila. Aipatutako bi txostenen arteko alde nabarmenek, beste behin, ongi erakusten dute zein labainkor izan daitezkeen etorkizuneko aurreikuspenak.

International eta EREC (*European Renewable Energy Council*, Europako Energia Berriztagarrien Kontseilua) erakundeek 2007ko hasieran plazaratuta, “Energy [r]evolution. A Sustainable World Energy Outlook” txostenak zera baieztatzen du: energia berriztagarriek 2050ean munduko energia kontsumoaren erdia estali ahal dute; gainera CO₂-ko isurketak %50ean murriztuz, 1990eko mailaren azpitik. Nola lor liteke hori, egileen aburuz? Bada, 2050erako beharreko neurriak ez lirateke nolanhikoak izango: munduko kontsumo primarioa 435 EJ-etik (2003an) 422 EJ-era murriztuz; energia berriztagarrien erabilera izugarri bultzatuz, 2050ean energia primarioaren erdia berriztagarria izan arte -beste erdia erregai fosilen ustiapena litzateke-; biomasaren ekarpena, egungo %10etik %25era pasako litzateke; sorkuntza elektrikoan laurden bat erregai fosilen ustiapenean oinarrituko litzateke, beste laurden bat erregulatu daitekeen berriztagarrietan -nagusiki biomasa eta hidroelektrikoa-, eta beste erdia aldizkako sorkuntza berriztagarrietan. Greenpeace-en eszenatokian energia nuklearra desagertuko litzateke, baina ez erregai fosilak. Funtsezko izaten jarraituko lukete, bereziki garraio sektorean, non eta petrolioak nagusi izango omen den, motor hibridoek erabilerarekin batera.

Esan dugunez, “Energy [r]evolution” txostenak elementu neurtuagoak plazaratzen ditu. Berriztagarrien ekarpena, batetik, kontsumo osoaren erdira mugatzen da; bestetik, sorkuntza elektrikoari dagokionez, hartzen da kontuan aldizkako berriztagarriak sorkuntza elektrikoaren zati bat baino ezin direla izan. Dena dela, aldizkako sorkuntza -eolikoa eta fotovoltaikoa, gehienbat- potentzia gaitasunaren %50 litzateke -erreferentzia moduan, esan dezagun EBko Parlamentuak bultzatutako “Security of Energy Supply” dokumentuan, 2030ean aldizkako sorkuntzaren ekarpena, potentzia osoaren %34 izan daitekeela esaten dela, eszenatoki baikorrean¹⁷³-. Bestetik, biomasaren ekarpena izugarria litzateke

173 *Security of Energy Supply. The potential and reserves of various energy sources, technologies furthering self-reliance and the impact of policy decisions*, EUROPEAN PARLIAMENT, Directorate-General for Internal

2050ean: 105 exajoule hornitu beharko luke, gizateriaren kontsumo globala 422 exajoule izanik. Baina produktibitate zentzuzkoak suposatuz -hau da, adibidez Suedian biomasaren ustiapen zabala proposatzen dutenena, 0,7 tona petrolio baliokide inguru hektareako-, horrek 35 milioi kilometro karratu eskatuko lituzke biomasaren ekoizpenerako, urtero. Egun, FAOk emandako datuei kasu eginez gero¹⁷⁴, munduan nekazaritza eta abeltzaintzarekin lotutako eremuak ia 50 milioi kilometro karratu dira. Ikusten denez, biomasaren ekoizpenak eskatuko lukeena benetan izugarria litzateke.

Greenpeace International eta EREC-en txostena irakurtzean, galdera sakon batzuk sortzen zaizkigu proposamenaren bideragarritasunaz. Energia-intentsitatearen eta efizientziaren hobekuntzan bakarrik oinarritu daiteke sistema ekonomikoak irentsi beharko lukeen energia-kontsumoaren murrizketa hori? Posible al da sorkuntza elektrikoaren erdia aldizkakoa izatea? Egungo sorkuntza nuklearra ia 400 GW izanik, eta hidroelektrikoa 700 GW, nola lortu 2.400 GW fotovoltaiako/fototermiko eta 2.700 GW eoliko? Zein litzateke horren kostu ekonomikoa? Erronka egundokoa da, benetan.

Policies of the Union, 2006, 4. or.

174 "Food and Agriculture Statistics Global Outlook" in FAOSTAT, <http://faostat.fao.org/Portals/_Faostat/documents/pdf/world.pdf>.

7. ENERGIA URRIKO MUNDU BATEAN EZ GALTZEKO

ZENBAIT IRIZPIDE

Azken kapitulu honetan, inbentario moduan eta aurreko kapituluetan azaldutako ideia nagusiak bilduz, etorkizunean garrantzi handikoak izango diren irizpide batzuen zerrenda moduko bat osatuko dugu.

Geure zerrenda, nola ez, termodinamikako bi lehenengo lege nagusiekin hasiko dugu.

Energia ez da sortzen, ezta deuseztatzen ere.

Honela dio, bere enuntziatu ezagunenetariko batean, termodinamikaren lehenengo legeak: *energia ez da sortzen, ezta deuseztatzen ere.*

Energia ez da sortzen. Sistema baten barruan eskuragarri dagoen energia handitzen bada, kanpotik energia fluxu bat sartzen ari delako izango da. Gure planetan, unibertsoaren beste edozein lekutan gertatzen den modu berean, ez dago energia ezerezetik sortzerik. Eskuragarri daukaguna, energia fluxuek emandakoa da, unean uneko jasotako fluxu energetikoa -eguzki erradiazioa, adibidez-, edo iraganean bildutakoa -erregai fosilak edo presetan bildutako uraren energia hidraulikoa, hau guztia eguzki energiatik eratorria baita-. Kasu askotan, eskuragarri dauzkagun energia fluxuak egundokoak dira: Lurrak jasotzen duen eguzki-erradiazioarena, munduko haize guztiek dakarten energia eolikoarena, edo planetako ozeano eta itsasoek biltzen duten energia termikoarena. Beste asko, baina, pentsa daitekeen baino urriagoak dira: gizateriak urtean merkatuan salerosten duen energia primarioaren kopurua 450 exajoule izanik, planetako

biomasak epe berean atzematen duena, giza-kontsumoa halako lau baino gutxiago da (1.700 exajoule); planetaren urteko fluxu geotermikoa -kontinenteak mugiarazten dituen- kontsumo primarioa halako hiru baino gutxiago da (1.260 exajoule); eta planetako ibai guztiek dakarten energia hidraulikoak (300 exajoule) ez du estaltzen energia primario komertziala, ezta erregai fosilen kontsumoa ere (360 exajoule). Nola da hori posible? Gizateria, hein handi batean, errentetatik bizitzen ari delako, erregai fosilen errentetatik, hain justu.

Termodinamikako lehenengo legeak beste ondorio larri bat dakar. Azken batean, kontsumitzen dugun energia beste nonbait atzemandako fluxuetatik eratorria izan behar bada, balizko kontsumo eredu iraunkor baten bitartez geure kontsumora bideratuko genukeen energia fluxua, derrigorrez, beste leku batetik kentzen geundeke. Eta ezin ahaztu kontinenteek mugitzen jarraitu behar dutela, eguzki-izpiek itsasoetan hodeiak sortzen, haizeak ibiltzen, Golkoko itsas lasterrak ur bero Europaraino ekartzen, planetako landarediak kate trofiko osoa suspertzen... Egungo energia giza-kontsumoa maila berean mantentzeko, Naturan agertzen zaizkigun energia fluxuen zati handiegi bat modu intentsibo batean erabiliko bagenitu, ingurumenari ondorio larriak ekarriko genizkioke. Energiaren giza-kontsumoa energia fluxu berriztagarri asko baino murriztagoa da, baina Naturaren oreka hauskorrek fluxu itzel horien zati ñimiño bat erabiltzea baizik ez dute onartzen.

Energiaren kontserbazioaren printzipioak ezartzen duenez, energia ez da deuseztatzen ere; hortaz, Naturaren energia fluxuen desbideratze horrek hustutegiak ere eskatzen ditu. Azken hamarkadetan CO₂ eta beste gas batzuen isurketak berotegi efektuaren bitartez sortzen ari omen diren klimaren aldaketa, hustutegiaren agorpenaren ondorioen adibide argi

bat baino ez da. Energia berriztagarrien erabilerak CO₂-ko isurketak murriztuko lituzke; alabaina, biomasaren ustiapen zabalaren bidez egingo balitz, ondorio larriak ekarriko lizkioke oreka ekologiko hauskorrari. Puntu honetan, oso baliagarri dakiguke ekologian azken hamarkadan plazaratutako kontzeptu bat: *aztarna ekologikoa*, hau da, giza talde batek “kontsumitzen dituen baliabideak produzitzeko eta sortarazten dituen hondakinak zurgatzeko behar den eremu ekologiko produktiboa -landaketak, larreak, basoak, ur-ekosistema”¹⁷⁵.

Egungo zibilizazioaren aztarna ekologikoa, planetak suspertu ahal duena baino handiagoa dela gogorarazten dizkigute, behin eta berriz, ekologian adituek¹⁷⁶. Energia berriztagarrien erabileran oinarritutako zibilizazio batean, aztarna ekologikoa murriz liteke; hala ere, bera ere mugatua izango litzateke. Zinezko galdera, zera litzateke: zein da, modu iraunkor batean eta aztarna ekologiko eutsigarri batekin, gure planetak jasan ahal duen energia giza-kontsumoa?

Energiaren arazoa ez dago bakarrik eskaintzaren aldean -energia iturri berriak behar dituelako-, baizik eta -nagusiki- eskaeraren aldean: gizateriak energia kopuru itzelak behar ditu, bereziki herrialde garatuetan lortutako bizi mailak mantentzeko.

Energia katean zehar, beti, gero eta energia erabilgarri gutxiago dago eskuragarri.

Termodinamikako bigarren legea, entropiari buruzkoa, benetan mamitsua da. Era askotan

175 Rees eta Wackernagel-ek 1996an esandakoari jarraiki, Itziar Eizagirre eta Amaia Lizarralde, *Garapen Iraunkorra. Garatzeko bizi ala bizitzeko garatu*, 2005eko azaroa, 63. or.

176 Meadows senar-emazte eta J. Randers-ek ere Wackernagel aipatzen dute, *Limits to Growth. The 30-Year Update* liburuan (2004, xiv-xv eta 3. or.), baieztatzerakoan egungo zibilizazioaren aztarna ekologikoa planeta osokoa baino gehiago dela -hain zuzen 1,2 planeta, planeta osoko muga 1980 urtean gaudituz zelarik-. Meadows senar-emazte eta J. Randers-ek, orain dela 30 urte hasitako ibilbideari jarraituz, ikuspuntu interesgarria eta kontuan hartu beharrekoa eskaintzen digute liburu horretan, hazkunde amaiezinean oinarritzen den egungo zibilizazioaren mugen gainean.

enuntzia daiteke; guretzat, gogoratuko dugu oinarrizko lege honen funtsa zera dela: *sistema isolatu baten desordena beti handiagotu egiten dela*. Energiak, beti, sakabanatzeko joera dauka, eta liburuaren lehenengo kapituluaren esan genuenez, energia katean zehar, beti, energia erabilgarria gutxitzen doa. Energia erabilgarriaren eskuragarritasunaren murrizketaren funtsa, energia mota desberdinen arteko konbertsioen efizientzia mugatueta datza. Efizientzia muga horiek, kasu askotan, oinarrizkoak dira -ez teknologikoak, baizik eta fisikoak-, eta gaindiezinak. Beste batzuetan, efizientziak teknikoki eta teknologikoki hobe daitezke.

Termodinamikako bigarren legeak guri dakartzigun ondorio nagusiak, beti buruan izateko modukoak lirateke. Lehenengo eta behin, energia-sistema, energia kate moduan ulertu eta pentsatu behar da. Energia zenbatekoak ez dira berdinak energia katean zehar, ezta gutxiago ere. Katean zehar, azkeneko kontsumoraino, energia, mota batetik beste mota batera eraldatuz doan heinean -ikatzeko energia kimikoa elektrizitate bihurtuz zentral termoelektrikoetan, edo eguzki-energia bioerregai bihurtuz laborantza energetikoetan-, energia erabilgarriaren kopurua beti murrizten da, kasu askotan nabarmenki, gainera. Ekologisten artean sonatua da “gizarteak Eguzkiari begira jarri behar” duen argudioa. Eguzkiari begira, bai, baina nola sartzen da Eguzkia autoaren depositu barrura? Aukera batzuk, egon, badaude. Baina petrolioaren deribatuenean eskaintzen dizkigutenak baino garestiagoak dira, bai ekonomikoki, baita energetikoki ere.

Energia fluxu berriztagarriak itzelak dira, baina hori istorioaren erdia baino ez da. Energia eraldatu, bildu eta lana burutzeko erabiltzen da, teknologiaren bidez. Teknologia batzuk, beste batzuk baino efizienteagoak dira; aldeak, askotan, handiak dira. Beraz, efizientziaren hobekuntzak oinarrizko printzipioa izaten jarraituko du etorkizunean, baita

energia kontsumoan galerak gutxitzeak ere.

Energia katearen kontzeptua buruan, azkenik, aise ondorioztatzen da katea zenbat eta motzagoa, energia-sistema orduan eta efizienteagoa izango dela, orokorrean. Beraz, hidrogenoa bezalako balizko energia bektoreak energia kate barrura sartzeak, nahitaez, efizientzia osoaren murrizketak ekarriko ditu, eta haien erabilera guztiz beharrezkoa izango litzatekeen sektoreetan -garraioarena kasu- baino ez dauka zentzurik. Besteetan, askoz zentzudunagoa da energia elektrikoa, ahal den heinean -biltzeko beharrak hor jarraitzen baitu-, erabiltzea.

Termodinamikako lehenengo eta bigarren legeak, esan dugunez, mamitsuak dira. Ondorio larriak eta oso kontuan hartzekoak dakarzkigute. Hala ere, beste bat plazaratuko dugu, metodologikoa deituko dioguna, eta diziplina eta bizitzaren arlo askotan guztiz funtsezkoa dena.

Errealitatearekin zintzoak izan gaitezen.

Termodinamikako lehenengo eta bigarren legeak ezin ditugu fisikaren beste legeetatik eratorri. Oinarrizko printzipioak dira, *guztiz enpirikoak*. Energiari lotutako bi printzipio nagusiak, energiaren kontserbazioarena eta entropiari buruzkoa, errealitate fisikoaren -Naturaren, Unibertsoaren- *behaketan* oinarritzen dira, bakar-bakarrik. Edonork, lege horietako bat bortxatzen duen edozein gertakari fisiko behatuko balu, zientziaren egitura osoa hankaz gora utziko luke. Bi lege horien frogapena guztiz enpirikoa da, induktiboa.

Metodo deduktiboarekin gertatzen denaren kontra, metodo induktiboa ez da inoiz behin betikoa; horrexegatik, askotan, metodo induktiboa ahulagoa delakoan, gizakiak logika

deduktiboa hobetsi du, zeinak, arrisku handi bat dakarren: errealitatearengandik urruntzea; mundu idealean, ideien mundu perfektuan isolatuta geratzea, errealitatetik kanpo.

Termodinamikako bi legeek, baina, errealitatearen nagusitasun bortxaezina gogorarazten digute, behin eta berriz. Errealitatearekiko zintzotasuna. Errealitatea baita, azken batean, gure jarduera osoaren testuingurua -hobera aldatzen saiatu behar duguna-, eta bata denean, ezin dugu beste guztiz desberdin bat balitz bezala jokatu.

Zentzu horretan, errealitatetik kanpo jokatzeko duten pentsatzen dutenek gizateriaren energia kontsumoak mugagabeki hazten jarraitu ahal duela. Errealitatetik kanpo jokatzeko duten konturatu ez direnek gero eta erregai fosil gutxiago geratzen dela munduan. Errealitatetik kanpo jokatzeko duten uste dutenek energia fluxu berriztagarriak, kostu energetiko eta ekonomiko txikiekin, erabilgarri bihurtu daitezkeela.

Gero eta erregai fosil gutxiago geratzen dira.

Baieztape hau begi bistakoa da; hala ere, badirudi askotan ahazten dugula, betiere petrolio-konpainiek eta ekoizle diren hainbat Estatu erakusten duten gardentasun ezak lagunduta. Errealitatearen azterketak, baina, jakinarazten digu energia baliabide batzuen kasuan gaurdaino ekoizitakoa, geratzen dena baino gehiago izan daitekeela dagoeneko: petrolioaren erazketaren kasua izango litzateke adibide argiena.

Hala ere, ekoizpenaren *puntu gorenaren* kontzeptua ez dugu petrolioaren kasura mugatu behar. Izan ere, etorkizunean guztiz baliagarri dakiguke kontzeptu hori. Historian zehar, hainbaten ekoizpen/kontsumo/erabileraren puntu gorenak, behin baino gehiagotan gertatu dira. Orain arte gertatutako kasu gehienetan, puntu gorenak ordezkatzeko prozesuek

eraginda gertatu ziren -AEBetan zamabere moduan zaldien erabilerak XX. mendearen hasieran jo zuen puntu gorena, zaldi eta mandoen populazioa 25 milioi abelburu inguru zelarik, autoen erabilera ugaldtu baino lehen-; beste batzuetan, baina, baliabideen benetako agorpena gertatu da -Kantauriko legatz edota antxoaren kasuak, edo Ternuako bakailaoarena-; edo gehiegizko kostu ekonomikoak -aireko garraio supersonikoaren kasua, edota Ilargirako bidaia tripulatuak: ikusiko dugu berriro gizakia Ilargian?-.

Etorkizunari begira, energiaren urritasuna bere gordintasun gero eta argiagoan agertu heinean, *puntu goren*-tasun hori modu nabarmenean hasiko da zabaltzen beste arlo askotara, ziur aski. Azken urteotan, ez bakarrik petrolioaren salneurria, baizik eta gas naturalarena, energia elektrikoarena¹⁷⁷ eta lehengai askorena¹⁷⁸ ere, gorako joera argia erakusten ari dira. Europan, Errusiatik heltzen den gas naturalaren gaineko tentsioak gero eta ageriagoak dira. Joerek bere horretan jarraituz gero, litekeena da hainbat arlotan kontsumoaren moteltzea, baita kontsumoaren maximo historikoak atzean uztea ere.

Hego Euskal Herrian, efizientzia hobetu eta kutsadura gutxitze aldera, berrikuntza garrantzitsuak burutu dira, nagusiki ziklo konbinatuko zentral berriak eraikiz energia elektrikoa sortzeko, eta gas naturalaren erabilera ugalduz. Horrela, petrolioarekiko eta ikatzarekiko mendekotasunak murriztu egin dira -neurri oso mugatu batean, garraio sektorean petrolioarekiko mendekotasunak bere horretan jarraitzen baitu-, beste handiago bat sortuz, gas naturalarekikoa: urte gutxi barru, Eusko Jaurlaritzako helburuak betez gero, EAEn ziklo konbinatuek sortutako potentzia elektrikoa, guztiaren %65 izan daiteke,

177 REEren datuen arabera, azken hiru urteotan banatzaileei egindako elektrizitatearen erosketen prezioa bikoiztu baino gehiago egin da. 2006ko urrian, sektoreak Espainian 2007rako tarifa elektrikoaren %20ko hazkundera eskatu zion gobernuari. Dirudienez, gobernuak hazkundera “bakarrik” %6an utziko du.

178 Azken hamarkadan, Oinarritzko Metalen Prezioen Indizea -barruan zink, nikel, berun, burdin, eztainu, aluminio eta abarren prezioak barruan hartzen dituena- hirukoiztu egin da. “Enpresak lehengai garestiekin ere lan egiten ikasi beharrean”, *in* Berria, 2006ko azaroaren 8a.

eta gasaren kontsumoa, gordin osoaren %52. Hori bai mendekotasuna!

Ziklo konbinatuen ugaltze masibo horri esker, EAEko energia estrategiak dio 2010ean “Euskadin sortutako elektrizitateak [Euskadiko eskaera elektrikoa] estaliko luke; hots, buruaskitasun maila iritsiko” lukeela¹⁷⁹, ahaztuz, harrigarriki, ziklo konbinatuko zentralak elikatzen dituen gasa kanpotik datorkigula. Buruaskitasun energetikoa zenbatzekoan, ez dirudi gure agintariak erabilitako irizpideak oso zintzoak direnik.

Energia nuklearrak ez digu konponbidea ekarriko.

Azken bolada honetan, energia nuklearraren aldeko mugimenduaren susperraldi moduko bat gertatzen ari dela dirudi. Tony Blair Erresuma Batuko lehen ministroak, 2005ean, herrialde horretan dagoen sorkuntza nuklearra mantendu, eta gero handitu behar dela argitu zuen. IEA gero eta argiago ari da zabaltzen energia nuklearraren ekarpenaren beharra, herrialde garatuen energia nahasteetan. 2005ean Greenpeace erakundeak Espainian eta European plazaratutako energia berriztagarrien aldeko txostenen atzean¹⁸⁰, nuklearraren aldeko uholde horri aurre egiteko asmoa sumatzen da, gehienbat.

Hala ere, benetako irtenbide bat eskaintzen digu energia nuklearrak, gerta dakizkigukeen energia arazoei aurre egite aldera? Ingurumen eta segurtasun arazo larri-larriak alde batera utzita¹⁸¹, argi izan behar dugu ezetz. Energia nuklearraren ustiapen intentsiboak

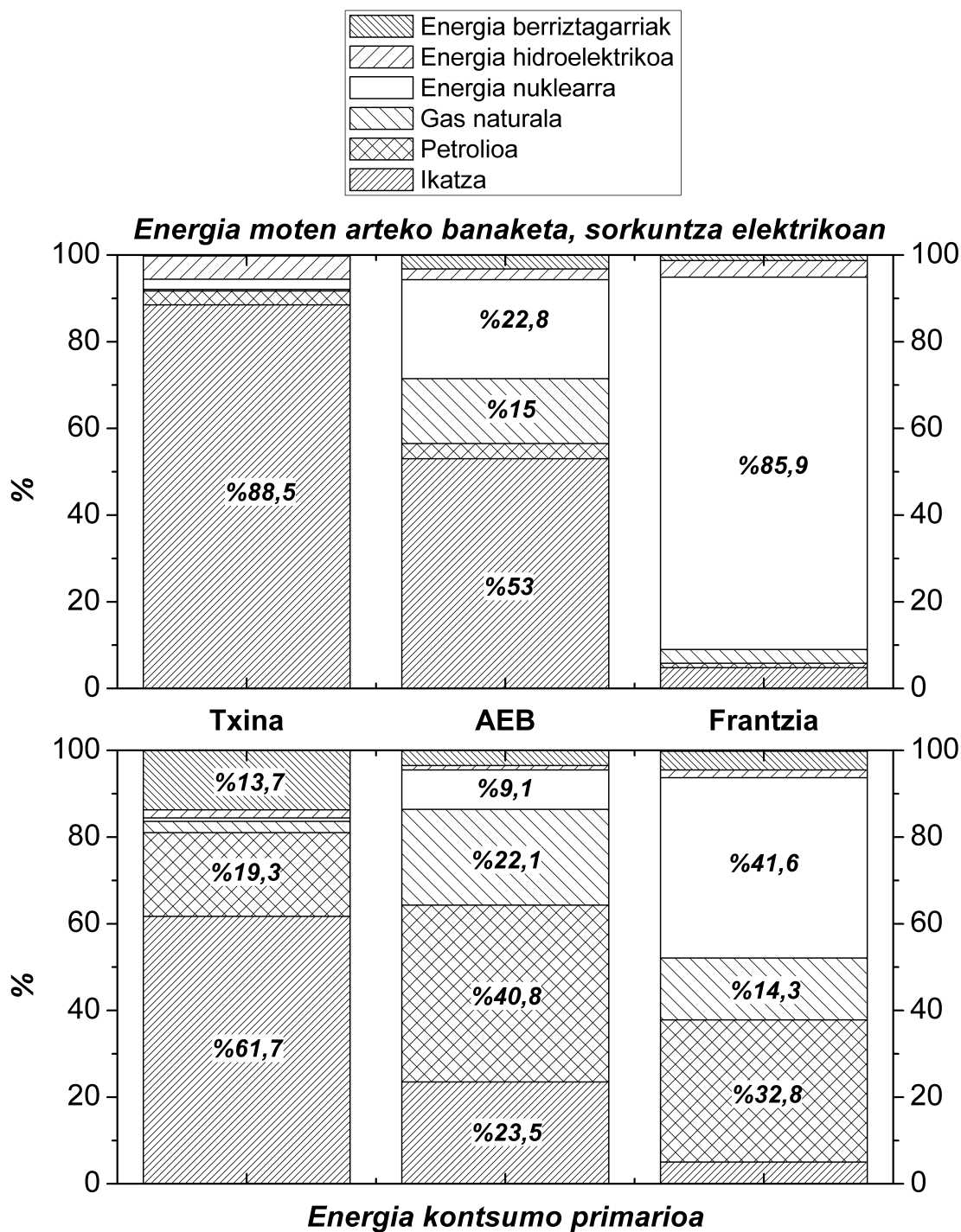
179 Energia Garapen Iraunkorretan. Euskadi 2010 Energia Estrategia. Euskadiko Energia Politika, Eusko Jaurlaritza, 118. or.

180 Greenpeace, *Renovables 2050. Un informe sobre el potencial de las energías renovables en la España peninsular*, 2005, eta *Energy Revolution: a sustainable pathway to a clean energy future for Europe*, 2005.

181 Ingurumen eta segurtasun arazoak, energia nuklearrari dagokionez, benetan larriak dira; betiere edozein energia motatakoak baino askoz larriagoak. Hala ere, liburu honetan ez gara sakonera handiko ur horietan sartu, eta energia baliabideen muga teknologiko eta fisikoen azterketan jarri dugu arreta berezia, nahiz eta, nik uste, oso argi utzi dugula biosferak eta ingurumenak jartzen dizkiguten mugak lehen mailakoak direla, eta hori kontuan hartuta jokatu dugula.

eman diezazkigukeen potentzialitateak aztertzeko, energia nahaste oso desberdinak dauzkaten hiru herrialdeen egoerak aztertuko ditugu. 37. irudian, Txina, AEB eta Frantziako energia moten arteko banaketak erakusten dira, alde batetik irudiaren beheko partean energia kontsumo primarioari dagokiona, eta beste aldetik, goiko aldean, sorkuntza elektrikorako energia erabilerari dagokiona.

Txina, AEB eta Frantziako behar, egoera eta garapen teknologikoak desberdinak dira, bereziki energia nuklearraren garapen eta erabilerari dagokienez. Elektrizitatea sortzeko erabiltzen diren energia motei erreparatuz gero, ikusiko dugu Txinaren kasuan sorkuntza elektrikoa ikatzaren errekuntzan oinarritzen dela, gehienbat. Herrialde horretan kontsumitzen den elektrizitatearen ia %90, ikatzeko zentral termoelektrikoetan sortzen da. Geratzen den beste %10ean zati handiena sorkuntza hidroelektrikoak darama, petroliotik sortutakoa gutxiago eta gas naturaletik ateratakoa hutsaren hurrengoa izanik. AEBetan, aldiz, sorkuntza elektrikoa askoz bananduago dago. Hala ere, ikatzeko energia %53 da, erdia baino gehiago. 70 eta 80ko hamarkadetako petrolioaren krisiak zirela eta, herrialde horretan ordezkatzeko prozesu trinkoak burutu ziren, petrolioaren erretzen elektrizitatea sortzen zuten zentral termoelektrikoak gas naturalekoekin eta zentral nuklearrekin ordezkaturik. Horrela, gas naturalaren ekarpena %15 da, eta herrialdean dauden 104 zentral nuklearrek energiaren %22,8 eskatzen dute. Ikusten denez, elektrizitatea sortzeko energia nuklearraren ekarpena garrantzitsua da AEBetan, gas naturalarena baino handiagoa, baina batere ez nagusia. Frantzian ordea, egoera oso bestelakoa da. Herrialde horretan, elektrizitatea sortzeko erabiltzen den energiaren %85,9 da nuklearra. Hondarrak, ikatzeko zentral termoelektriko eta zentral hidroelektrikoen artean banatzen dira, nagusiki. Frantziak energiaren erabilera zibilaren aldeko apustu sutsua egin zuen aspaldi -erabilera militarrekin batera, ezin baitugu ahaztu biak bereiztezinak direla, hein handi batean-



37. irudia. Energia moten arteko banaketa, energia kontsumo primarioan eta sorkuntza elektrikoan¹⁸², Txinan, AEBetan eta Frantzian (Itur.: IEA).

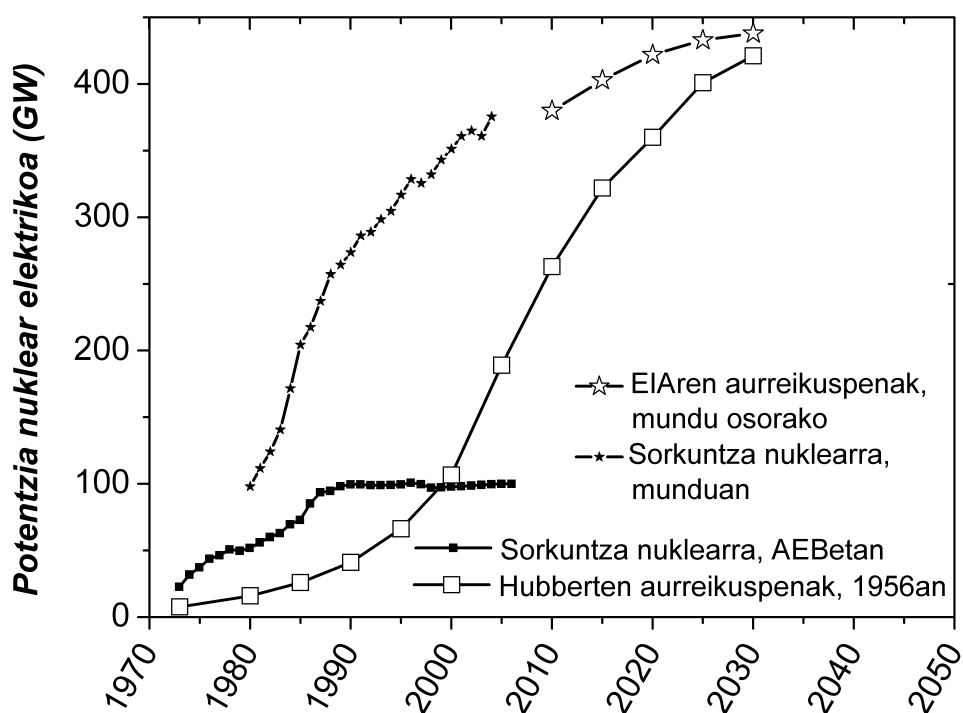
182 Sorkuntza elektrikoari dagokionez, energia mota bakoitzeko ekarpenaren zenbatekoa balio kaloriko netoetan dago neurtuta. Erkaketa energia elektrikoaren zenbatekotan eginez gero, energia mota bakoitzaren ekarpena sorkuntza

Energia nuklearra, Frantziako sorkuntza elektrikoaren oinarria da, eta oso zail ikusten da haren ekarpena handitzea. Zentzu horretan, Frantziaren kasua erreferentziatzat har dezakegu energia nuklearraren erabilera masiboa etorkizunean zenbaterainokoa izan litekeen jakiteko, haren aldeko uholdea datozen urteotan garaile aterako balitz. Eta 37. irudiaren beheko partean ikusten denez, energia nuklearra bakarrik elektrizitatea sortzeko erabiltzen dugunez -momentuz eta ziur aski hamarkada askotarako-, Frantzian haren ekarpena energia kontsumo primarioaren nahastean %41,6 baino ez da. Batere gutxi ez dena, baina sor daitezkeen energia arazo gehienek konponbidea izatetik oso urrun dagoena. Frantzian, energia nuklearrari esker, ikatzaren kontsumoa oso apala da -eta horrexegatik ateratzen da hain ondo herrialde hori negutegi efektuko gasen isurketen estatistiketatik-; baina petrolioaren kontsumoa ia %31 da, AEBen %40,8tik ez oso urrun. Gas naturalaren kontsumoa ere, garrantzitsua da, eta guztira erregai fosilen ekarpena erdia baino gehiago da. Energia nuklearrak ezin ditu erregai fosilen erabilera funtsezko asko ordezkatu: garraioan, kimika-sektorean, eta abar.

Nolakoa izan da energia nuklearraren bilakaera azken urteotan? Gauzak argitzeko, 38. irudian erregistro historikoak eta 2030erainoko aurreikuspenak erakusten dira, AEBetako eta mundu osoko potentzia nuklearrerako. Bilakaera AEBetan esanguratsua da, oso. 60ko hamarkadan, bazirudien energia nuklearra arazo guztien konponbidea izango zatekeela. Holakorik uste zutenen artean, Hubbert bera aurkitzen zen, eta aipatu behar dugu haren artikulu famatuak, non eta AEBetako petrolio ekoizpen gorenaren aurreikuspena egiten zuen, energia nuklearraren etorkizun distiratsuaren berri ere ematen zuela, 1956 urtean. 38. irudian erakusten denez, Hubberten ustez AEBetan instalatutako

elektrikoaren efizientziaz biderkatu beharko genuke, emaitzak pixka bat aldatuz: elektrizitate nuklearraren kasuan bider 0,4 (elektrizitatea sortzeko zentral nuklearren efizientzia %40 inguru baita); gas naturalaren kasuan bider 0,6 (ziklo konbinatuko zentralen efizientzia %60 inguru baita); eta sorkuntza hidroelektriko, eoliko edota fotovoltaikoan bider bat, horiek guztiak zuzenean energia elektriko sortzen baitute.

potentzia 2000 urtean 100 GW-ekoa izango zen, eta 2030ean 400 GW-ekoa. Lehenengo 30 urtean zehar hazkundera izugarria izan zen; izan ere, Hubbertek aurreikusitakoa baino altuagoa, eta 1990ean bazegoen martxan AEBetan 100 GW-eko potentzia. Baina ordudatik aurrera, 20 urtean, potentzia nuklearra ia izoztuta geratu da zenbateko borobil horretan, eta 2030erako Hubberten aurreikuspenak betetzeak oso zaila dirudi.



38. irudia. Sorkuntza nuklear elektrikoaren erregistro historikoa eta aurreikuspenak, AEBetan eta mundu osoan (Itur.: Energy Information Administration¹⁸³ eta M.K. Hubbert¹⁸⁴).

AEBetako gaitasun nuklearra azken bi hamarkadetan gelditu arren, mundu mailan

183 Energy Information Administration, US Dept. of Energy. Official Energy Statistics from the U.S. Government, in <<http://www.eia.doe.gov/emeu/aer/nuclear.html>>.

184 M.K. Hubbert, *Nuclear energy and the fossil fuels*, Amerikako Petrolio Institutuak antolatutako jardunaldietan aurkeztuta, 1956.eko martxoan, 37. or.

hazkundeak jarraitu zuen, gaur arte. Hala ere, irudian ikusten denez, hazkundera gero eta motelagoa da, eta EIAren aurreikuspenen arabera 2030 arte batez besteko urteko hazkundera %0,6 baino gutxiago izango da, mundu osoan 400 GW-eko maila estu gainditu arte, hain zuzen ere orain dela 50 urte Hubbertek AEBetarako bakarrik iragartzen zuen potentzia bera.

Zer dela eta, orduan, hainbeste presio nuklearraren alde? Oso kontuan hartzekoa da munduko sorkuntza nuklearraren %85 baino gehiagok gutxienez 30 urte dauzkala. Etorkizun hurbilean zentral nuklear mordo bat desegin beharko da. Instalazio berrien kostu izugarriak kontuan hartuta, jasaten dugun uholdea egungo zentralen bizitzaren luzapenaren alde moduan ulertzea ez legoke batere gaizki, azken batean zentral zahar eta guztiz amortizatuta daudenak baitira ekonomikoki lehiakorrenak -baita arriskutsuenak ere-.

Energia berriztagarriek etorkizunean garrantzia eta pisu handia izango dute nahaste energetikoan; dena den, beren mugak ere agertuko zaizkigu.

Etorkizunean, erregai fosilen agorpena eta mugatasuna beren gordintasunean azaltzen diren heinean, fluxu berriztagarrien erabilera gero eta zabalagoa izango da. Energia berriztagarriak errealitate sendoa dira dagoeneko. Teknologikoki bideragarriak, eta energien prezio altuetako abagune batean, ekonomikoki gero eta lehiakorragoak. Baina mugak ere, egon, badaude. Batzuetan, energia berriztagarrien gutxiespenaren eta erabilera murriztaren azalpen moduko bat aurkitzeko, haien kontrako teoria konspiratiboak ekarri dira gogora. Alabaina -energia berriztagarriekin ere, beste hainbat gauzarekin gertatzen den modu berean, azpijoko eta konspirazioak gerta daitezkeela ukatu barik-, azalpenak askoz errazago haien muga saihestezinetan aurki ditzakegu.

Egun, energia baliabide fosilek abantaila nabarmenak erakusten dituzte energia berriztagarrien aurrean, aurreko kapituluan ikusi dugunez energia bektorearen arazoa ikertzean. Momentuz, gasolinaren prezioak kalitate oneneko oliba-olioaren prezioa gaitzen ez duen bitartean -salneurri hori erreferentzia ontzat har genezake etorkizunerako garraiorako erregaientzat-, edo negutegi efektuko gasen isurketek eragindako klima aldaketak bultzatuta itsasoko urak edota basamortuko areak gure etxeko ateraino heltzen ez diren bitartean -eta orduan ere zalantzak egon daitezke ea kontsumo eredu aldaketak etorriko liratekeen ala ez-, guztiz logikoa da baliabide fosilak azken tantaraino ustiatzea. Baina esan dezagun beste behin: arazoa ez da energia berriztagarriek berezko muga larriak dauzkatenik. Azken batean, erregai fosilak ere badira eguzki-energia, eta haiek sortzeko efizientziak, egiaz, fluxu berriztagarri askoren erabileran aurki ditzakegunak baino askoz kaskarragoak. Baina kontua da erregai fosilek, eta bereziki petrolioak, orain dela hamarka milioi urte, Eguzkitik milaka eta milaka urtez -oso efizientzia gutxiko energia kate baten bidez- jasotako energia baino ez daukatela, gizakiak Lur planeta zapaltzen hasi zirenerako, jada bilduta zegoena; *eta horrek ez gaitu behartu modu iraunkor batez erabiltzera*. Energia berriztagarriek, ordea, *iraunkortasunaren ordaina* dakarte: fluxu berriztagarriak agortezinak izan arren, haien eskuragarritasuna mugatua da, eta haien zati bat baino ezin dugu atzeman.

Fluxu berriztagarrien ustiapen masiboa bideratzeko, era askotako inbertsio izugarriak eta egungo azpiegituren berrikuntza beharko dira.

Orokorrean, energia berriztagarrien kostuak ez dira energia fosilekin lotutakoak baino merkeagoak. Energia berriztagarrien ustiapen masiboak, energia eraldatu, kudeatu eta banatzeko sistema guztiz berriak eskatzen ditu: izaera aldakorreko energia eoliko, fotovoltaiako eta fototermikoan oinarritutako sorkuntza elektrikoaren sarea, edo hidrogenoa

garraioan energia bektore moduan erabiliko lukeen azpiegitura. Posible izan, badira, baina sistema berri horrek gizarteari baliabide ekonomiko itzelak eskatuko dizkio, printzipioz mugatuak eta beste behar askori ere aurre egin behar diotenak. Etorkizunean, energia berriztagarrien sektorean diru kopuru itzelak mugituko dira; hortik negozio handiak egiteko aukerak, baina hori, berez, ez da ona.

Aurrean zabaltzen zaiguna, sistema produktibo osoaren berrikuntza zabal eta goitik beherakoa da, guztia mugiarazten duenetik hasiz, energia sektoretik. Ez da lan makala izango. Energia sektorean burutu beharko den iraultza teknologiko horretan energia pilo beharko da. Zoritxarrez, zantzu guztien arabera, gizartea ez da hasiko askoz lehenago hartu behar ziren neurriak hartzen arazo osoaren tamaina bere gordintasunean ikusi arte, eskuragarri dauden baliabide material eta energetikoak askoz mugatuagoak direnean.

Sare elektrikoa, eta garraio sektorea, etorkizunean, mami handiko berrikuntzak beharko dituzten azpiegiturak izango dira. Euskal Herrian, azpiegitura horien ezaugarri batzuk kezkarriak dira. Garraioari dagokionez, EAEn garraioko azpiegiturek eremuaren %2,51 okupatzen dute, EBn ehunekoa %1,2 denean. Aldi berean, EAEn azken urteotan egindako era guztietako garraio azpiegituren aldeko apustu sutsua -bereziki azpiegitura erraldoien aldekoa: abiadura handiko trena, superportu, aireportu, Supersur eta abar-, inbertsio kopuru ikaragarriak eskatzeaz gain, ez dirudi oso bateragarria denik fluxu berriztagarrien erabileran eta energia-kontsumo murritzean oinarritutako gizarte-eredu batekin. Beste aldetik, sare elektrikoari dagokionez, EAEn agintariak aldarrikatutako sorkuntza elektrikoaren *buruaskitasunak* ez du ibilbide oso luzea izango, kanpotik etorritako gas naturalaren mendean baitago. Gainera, horri gehitu behar zaio iparralde eta hegoalde artean hainbestetan deitoratutako zatiketa administratiboa baino sakonagoa dela bi aldean

sare elektrikoaren artekoa. Euskal Herriko sare elektrikoak bi Estatuaren mendean daude, erabat.

“Nekazaritza, ergelak, nekazaritza!!”¹⁸⁵

Lerro hauek idazten dituen *urbanita* hutsa da, eta nahiko ergel sentitu da, izan ere gero eta ergelago, energiaren sakonera handiko uretan murgiltzen joan den heinean.

Energiari begira, nekazaritza-sektorea estrategikoa eta funtsezkoa da. Nekazaritza da, hain zuzen ere, gizateriarentzat energia iturri nagusi diren elikagaien ekoizpen-sektorea. Aldi berean, fluxu berriztagarrien ustiapenean, biomasatik ateratako ekarpena nagusitzen da, alde nabarmenarekin gainera. Momentuz, bioerregaiak dira garraio sektorean erabilitako erregai fosilen ordezkari zuzen bakarrak.

Etorkizunean, era askotako energia baliabideak sortze aldera, laborantzarako eremuak behar-beharrezkoak izango dira. Energia-laborantzaren produktibitateak, baina, apalak dira: urtean hektareako tona bat petrolio baliokide baino gutxiago, eremu handiak ustiatzen badira. Produktibitate apalek, hala ere, ez dute murrizten nekazaritzaren garrantzia, baizik eta justu kontrakoa, haren betebehar asko ordezkazekin baitira. Hortaz, beharrezko eremuak lortzeko lehia handia izango da etorkizunean; gainera, oraingo nekazaritzaren produktibitate altuak nagusiki ureztatze eta ongarrien erabilera masiboan oinarritzen dira, energiaren kontsumo intentsiboan, azken batean. Badirudi osagarri ia guztiak dauzkagula nekazaritza sektorean ere, energiaren urritasuna sentitzen hasten

185 Holako zerbait, baina ekonomiarekin lotutako gaien erreferentzia eginez -"It's the economy, stupid"- aurpegiratu zion Clinton hautagaiak orduan AEBetako presidentea zen George Bush I.ari, berriki Irakeko lehenengo gerra irabaztetik zetorrenari, 1992 urteko presidentetzarako hauteskunde-kanpainan. Aduen arabera, bere agintean barne politikako kontuak eta bereziki egoera ekonomikoarekin lotutakoak Bush presidentea alban uztearekin oso kritikoa agertzeak eman zion Clintoni garaipen elektoralak.

denean, sakonera handiko tentsioak sor daitezten.

Eta sortu hasiak dira, jada. AEBetan, 2007ko *Batasunaren egoerari buruzko eztabaidan*, Bush presidenteak petrolioarekiko AEBetako mendekotasunarekin bukatzeko asmoa agertu zuen, klima aldaketari aurre egitearekin batera¹⁸⁶. Aurreko urteko eztabaidan esana zuen Bush: “The US is addicted to oil” (“AEBak petrolioaren mendera erori dira”), eta orain mendekotasun horrekin apurtzeko errezetekin datorkigu. Helburua, oso argi utzi digu: datozen hamar urteotan, AEBetako gasolina kontsumoa %20an murriztea -hortik datorkio izena planari, *Twenty In Ten: Strengthening America's Energy Security*- %15eko murriztapena, ordezeko erregai eta bioerregai berriztagarrien erabileraren eskutik etorriko omen da.

5. kapituluan azaldu genuenez, bioetanolaren ekoizpena AEBetan artoarekin egiten da -energia errentagarritasun nahiko eztabaidatu batekin, gainera-. Mexikon, berriz, artoa elikagai garrantzitsuenetariko bat da -gogora ditzagun artozko *tortilla* famatuak-, eta 17,7 milioi tona artoko urteko defizita AEBetatik inportatutako artoarekin estaltzen dute, nagusiki. AEBetan bioetanola ekoizteko eskaeraren handitzeak artoaren salneurria hirukoiztu egin du¹⁸⁷, eta munduan zehar elikagai askoren salneurrien gaineko tentsioak zabaltzen ari dira. Aldi berean, erreakzioak ez dira falta izan: Fidel Castrok, adibidez, elikagaiak erregai bihurtzeko planak gogor gaitzetsi ditu¹⁸⁸. FAOk bere azkeneko dokumentu batean¹⁸⁹, modu oso egokian, bioenergia munduko txirotuen zerbitzura

186 *Twenty In Ten: Strengthening America's Energy Security*, State of the Nation, 2007, <<http://www.whitehouse.gov/stateoftheunion/2007/initiatives/energy.html>>

187 “Nace en México la 'etanoinflación'. El aumento del uso del maíz para producir etanol dispara el precio de las tortillas”, in <www.elpais.com>, 2007ko urtarrilaren 24a.

188 Castro, F., “Condenados a muerte prematura por hambre y sed más de 3 mil millones de personas en el mundo”, in *Granma*, 2007ko martxoaren 29a.

189 FAO, *Sustainable Bioenergy: A Framework for Decision Makers*, 2007.

jartzeko beharra plazaratu du.

“Nekazaritza, ergelak, nekazaritza!!” Etorkizunean, nekazaritza sektorea gero eta funtsezkoagoa izango da gizartearen energia beharrak asetzeko. Euskal Herrian, ez dut laborari jendea oso pozik ikusten, eta hori ez da batere seinale ona, nekazaritza sektorean ekoizpen-ehun sendo bat izatea guztiz funtsezkoa izango baita. Egun, oso kezagarria da nola administrazio gehientzat -eta esango nuke gizarte osoarentzat ere- nekazaritza kontuak guztiz bigarren –edo hirugarren- mailakoak diren. Gizartean, nekazaritzarekiko errespetua, miresmena eta ezaguera, azkar galtzen ari diren kontuak dira, berandu baino lehen berreskuratu beharko ditugunak.

Garraio sektorearen krisi sakona, eta *desglobalizazioa* ote?

Energia urriko mundu batean krisi sakona jasoko lukeen sektorea balego, ezbairik gabe, hori garraioarena litzateke. Garraioa da, hain zuzen, erregai fosilen erabilerari etekin gehien atera diona, ziur aski.

Azken bi urteetan petrolioaren prezioa bikoiztu egin da. Momentuz, badirudi prezio altuak ez bakarrik jasangarriak, baizik eta mesedegarriak ere bazaizkiola ekonomiaren hazkunderari¹⁹⁰, baina noraino hel daitezke prezioak? Joera mantentzen bada, noizbait kontsumoak moteldu, eta ziur aski murriztu ere, beharko du. Energia sektorea gizarte osoa suspertzen duen *sektore ezkutua* den neurri berean, garraio sektoreak ere eusten du sistema osoa, hein handi batean: pertsona, lehengai eta produktuen garraioaz arduratzen da, mundu osoan zehar. Hitzetik hortzera dabilen globalizazioa, ulergaitza litzateke

190 Petrolio garestiaren eta hazkunde ekonomikoaren arteko loturari buruz ikuspuntu interesgarri bat izateko, oso lagungarri izan daiteke ASPOren inguruko ekonomialaria den Andrew McKillop-ek idatzitako “Why We Need \$60/Barrel Oil – Update” artikulua, in <<http://www.financialsense.com/editorials/2005/0701.html>>, zeinak, 2003an idatziriko beste artikulua baten harira, egun ikusten ari garena azaltzen saiatzen zen.

garraioa eskuragarri eta merkea ez den mundu batean.

IEA agentziaren arabera, garraio sektoreak munduko azkeneko energia kontsumoaren %25,8 eskatzen du; horren barruan, petrolioaren deribatuek %94,4 daramate. Ikusten denez, garraio sektorearen petrolioarekiko mendekotasuna itzela da. Garraio sektorearen ezaugarri batzuek, gainera, mendekotasun hori larriagotzen dute. Garraio sektorea, berez, guztiz deszentralizatuta dago. Garraio publikoaren atal batzuk alde batera utzita, edota aireko garraioa, zeina nagusiki tamaina handiko konpainien esku dagoen, orokorrean ibilgailuen jabetza guztiz barreiatuta eta zabaldua dago. Horrek, nabarmen zailduko luke, krisi egoera batean, garraio azpiegituren osagai nagusien berrikuntza eta egokitzapena, hau da ibilgailuena, beharrezkoa izanez gero. Eta horrelako zerbait gertatu beharko da, berandu baino lehen, errealitate energetikoari jaramon eginez gero. Fluxu berriztagarriak garraioan modu masiboan erabiltzeko, energia azpiegituraren berrikuntza burutu beharko denean gertatuko den era berean, erregai fosilen erabileratik haratago doazen aukerak orain eskuragarri daukaguna baino garestiagoak, eta teknologikoki ez hain eroso eta bideragarri dira -gogora dezagun hidrogenoaren teknologiar buruz esandakoa, aurreko kapituluan-. Gainera, garraioaren azpiegituren berrikuntzek ekonomia eta energia baliabide mordoak eskatuko ditu, eta baliabide horien urritasuna handiagotzen joaten den heinean burutu beharko dira.

Energia urriko mundu batean, mugikortasuna egungoa baino murriztagoa izan beharko da, eta *desglobalizazio* moduko bat gertatu, hein batean, garraio sektorearen birmoldaketak eraginda. Noraino? Ez dakigu, baina mugikortasuna eta globalizazioa birpentsatzera behartuta egongo gara, ezbairik gabe.

Kontsumoa murriztea, besterik ez dago. Efizientzia hobetzetik eta energia aurreztetik haratago, *soiltasunerako deia*.

Nolakoa izango da, zehazki, energia urriko mundua? Balizko krisiak, noiz hasiko dira azaleratzen? Liburu honen helburua ezin da izan galdera horiek erantzutea; funtsean erantzun horiek inork ez dakizkilako. Maila askoz apalago batean, oso lagungarri litzateke jakitea lehenago plazaratutako galderaren erantzuna: zein da, modu iraunkor batean, gure planetak jasan ahal duen energia giza-kontsumoa? Galdera horrek, bi aldeko kontuak hartzeraz behartzen gaitu. Alde batetik -eskaintzaren aldetik esango genuke-, teknikoki eta ekonomikoki atzemateko bideragarria den energia fluxu maila; beste aldetik -eskariaren aldeari begira-, ingurumenak era iraunkorrean jasan ahal duen kontsumo maila.

Zein energia kontsumo maila lortu ahal dugu, ingurumena suntsitu barik? Hau da benetako galdera, erantzun beharrekoa. Nire aldetik, susmoa daukat kontsumo maila desiratu hori egungotik oso urrun ez dagoela -behetik ez badago-. Edonola ere, ziur nago gaindiezina den maila horrek nonbait egon behar duela, eta horregatik hazkunde amaiezinean oinarritzen den sistema ekonomiko batekin bateraezina dela. Energiaren erabileraren efizientzia hobetu eta energia aurrezteak ez dira nahikoak izango, lagundu arren, azken batean arazoak atzeratu baino ez baitituzte egiten.

Kontsumoa murriztea, besterik ez dago aurrean dauzkagun arriskuak ekidin nahi baditugu. Hala ere, mundu globalizatu honetan egitura sozio-ekonomiko osoa sostengatzen duten balio eta printzipio gehienekin era nahiko ezegokian moldatzen da hori, hazkunde ekonomikoa baita logika ekonomiko neoliberal kapitalistaren atzean dagoena, energia baliabideen kontsumoaren hazkundera zuzen-zuzenean dakarrena, hein handi batean. Nazioarteko Energia Agentzia bere txostenetan gero eta argiago uzten ari zaigunez,

energia urriko munduan egitura ekonomikoan sor litezkeen tentsioek sistemaren bihotza astindu lezakete. Korapiloaren tamaina hain da handia, bera askatzeak eskatuko duen denbora luze-luzea izango baita, hamarkadetan neurtua. Zentzu horretan, aurrean daukaguna izendatzeko, *krisi* hitza ez da oso aproposa. Krisia zen 70 eta 80ko hamarkadetan munduak jaso zuena, beste aldaketa batzuekin batera urte gutxian ezagutzen dugun eredu ekonomiko neoliberal eta globalizatua ekarri ziguna, baina funtsean sistemaren oinarriak aldatu barik, indarturik atera ez baziren. Honetan berriz, *trantsizio* hitza askoz aproposagoa litzateke. Beharreko aldaketak eta inertziak handiegiak dira. IEAk gero eta argiago iradokitzen duenez, sistema osoa da ezbaian dagoena.

Energia urriko mundu batean, zantzu gehienen arabera, bizitza ez da errazagoa izango, betiere kontuan hartuta egungo gehiengoarentzat bizitza, dagoeneko, ez dela batere erraza. Zentzu horretan, orain dela hogeitun urte Ignacio Ellacuria Erdialdeko Ameriketako Errotutako euskal pentsalariak idatzitako hitzak ekarri nahi ditugu gogora¹⁹¹. Ellacuriak, Ameriketako errealitate gordinetik ikusita *-errealitate historikoaren filosofoa bera-*, egungo zibilizazioan paradigma menderatzailea *aberastasun eta kapitalaren zibilizazioarena* dela zioen:

Aberastasun eta kapitalaren zibilizazioak, azken batean, gizabanako, talde, multinazional, Estatu edota Estatu taldeen aldetik ahalik eta kapital handienaren metaketa pribatua helburu hartzen du garapenaren funtsezko oinarri bezala, gizabanako edo familiaren metaketa edukitzailea norberaren segurtasunaren funtsezko oinarri bezala, eta beti handituz doan kontsumismo baten aukera

191 Ignacio Ellacuria, *Utopía y profetismo*, in *Mysterium liberationis. Conceptos fundamentales de la Teología de la liberación*, I. liburukia, I. Ellacuria eta J. Sobrino (editorekideak), 1990, 393-442 or.

norberaren zorionaren oinarri bezala¹⁹².

Ellacuriak erabilitako paradigmak, baina, ñabardura bat eskatzen du. Kapitalaren pilaketak, aurrez, beste metaketa bat behar du, derrigorrez. Egungo zibilizazio modernoak milaka urtean zehar pilatutako eguzki-energia du beharrezko, erregai fosilek biltzen dutena. Etorkizunean, gero eta argiago geratuko da paradigma sozio-ekonomiko neoliberal-kapitalistak ezin diela munduko pertsona guztiei eskaini herrialde garatuetan dugun bizi-maila. Ellacuriak ere argi zeuzkan egungo zibilizazioaren mugak:

Herrialde aberatsek herrialde txiroei eskaintzen dizkieten humanizazioa eta askatasuna ezin dira unibertsal bihurtu eta, beraz, eskaintza hori ez da gizatiarra, ezta eskaintza egiten dutenentzat ere. [...] mendebaldeko zibilizazioaren ideal praktikoa ezin da unibertsal bihurtu, ezta materialki ere, ezen Lurrean baliabide material nahikorik ez baitago herrialde guztiek erdiets ditzaten herrialde aberats deiturikoetan gozaten diren ekoizpen eta kontsumo mailak, non eta biztanleria gizateri osoaren %25 baino ez den¹⁹³.

Hazkunde geldiezina -kontsumo, ekoizpen, kutsadurarena- ezinezkoa izango bada, Ellacuriak -era profetikoan eta ikuspuntu utopiko batetik- kapitalaren zibilizazioaren “zuzenketarik ez, baizik eta bere aurkakoak ordezkatzeari erraztu behar dela” aldarrikatzen

192 Ellacuriaren jatorrizko hitzak, honakoak ziren: “La civilización de la riqueza y del capital es aquella que, en última instancia, propone la acumulación privada por parte de individuos, grupos, multinacionales, Estados o grupos de Estados, del mayor capital posible como la base fundamental del desarrollo y la acumulación poseedora, individual o familiar, de la mayor riqueza posible como base fundamental de la propia seguridad y de la posibilidad de un consumismo siempre creciente como base de la propia felicidad”.

193 “La oferta de humanización y libertad que hacen los países ricos a los países pobres no es universalizable y, consiguientemente, no es humana, ni siquiera para quienes la ofrecen. [...] el ideal práctico de la civilización occidental no es universalizable, ni siquiera materialmente, por cuando no hay recursos materiales en la tierra para que todos los países alcanzaran el mismo nivel de producción y consumo, usufructuado hoy por los países llamados ricos, cuya población no alcanza el 25% de la humanidad”.

zuen, “hau da, pobreziaren zibilizazioak”. Hala ere, Ellacuriak eskatzen zuen paradigma berriak, *pobreziaren zibilizazioarenak*, ez zuen nahi txirotze unibertsala aldarrikatu; izen hori, aberastasunaren zibilizazioaren kontra jartze moduan hartzen zuen:

Pobreziaren zibilizazioak kapitalaren pilaketa historiaren motor gisa arbuiatzen du, baita aberastasunaren jabetza-gozamena humanizazioaren printzipio modura ere, eta oinarrizko premien asetasun unibertsala hartzen du garapenaren printzipiotzat, eta elkartasun partekatuaren ugaltzea humanizazioaren oinarritzat.

[...] Pobreziaren zibilizazioak, printzipio dinamizatzailer moduan, kapitalaren pilaketaren aurrean, lana duin bihurtzea proposatzen du, gizakiaren hobetzea helburu nagusi izango duen lana, eta ez kapitalaren ekoizpena. Lana aldi berean oinarrizko premiak asetzeko eta autogauzatzeko bitarteko pertsonal eta kolektibo moduan ikusita, lanak auto- eta hetero-esplotazioko hainbat molde gaindituko lituzke, halaber ez bakarrik mingarriak, baizik eta menperatze eta aurkakotasun askoren zio ere diren desberdintasunak.¹⁹⁴

Aberastasun eta kapitalaren zibilizazioaren aurrean, lanaren bidezko duintasuna lortzea. Ellacuriak proposatutako lanaren zibilizazioa ez litzateke paradigma txarra.

Energetikoki ere, Ellacuriaren hitzek irakurketa oso interesgarri eta egoki bat ahalbidetzen

194 “La civilización de la pobreza [...] rechaza la acumulación del capital como motor de la historia y la posesión-disfrute de la riqueza como principio de humanización, y hace de la satisfacción universal de las necesidades básicas el principio del desarrollo y del acrecentamiento de la solidaridad compartida el fundamento de la humanización.

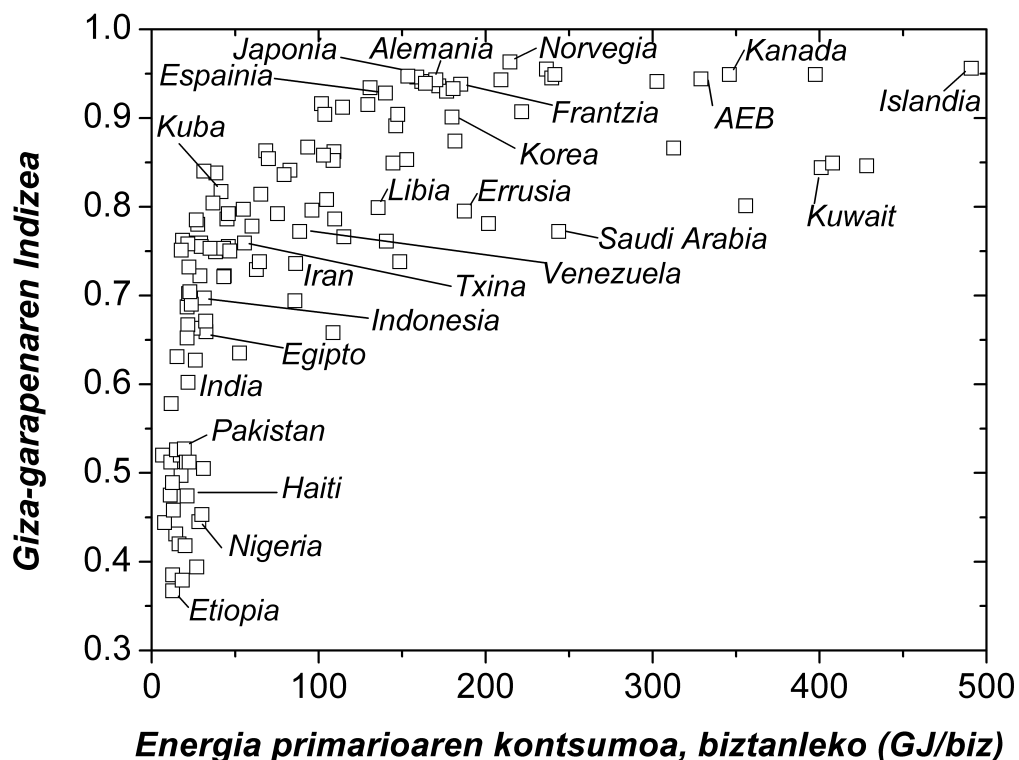
[...] La civilización de la pobreza propone, como principio dinamizador, frente a la acumulación del capital, la dignificación por el trabajo, un trabajo que no tenga por objeto principal la producción de capital, sino el perfeccionamiento del hombre. El trabajo, visto a la par como medio personal y colectivo para asegurar la satisfacción de las necesidades básicas y como forma de autorrealización, superaría distintas formas de auto y hetero-explotación y superaría asimismo desigualdades no sólo hirientes, sino también causantes de dominaciones y antagonismos”.

dute, *pilaketa* eta *lana* hitzak energiaren ikuspuntutik ulertuta: energia urriko balizko munduan, erregai fosilen agorpena gero eta nabarmenagoa izango den heinean, energia-sistema -eta ondorioz sistema ekonomiko osoa- ezin izango da erregai fosilen *pilaketetan* hainbeste oinarritu, baizik eta fluxu berriztagarrien erabileran, energia fluxu horiek *lana* bihurtuz -lana burutzeko ezinbestekoa baita energia eraldatzea- sistema osoa suspertzeko, hein handi batean pilaketarik gertatu gabe.

Hala eta guztiz ere, ez gaitezen inozo izan. Etorkizunean, kapital eta baliabide materialekiko lehia bizi-bizia izango da, gaur bezala; eta askotan, are eta biziagoa. Baina kontu batzuek hobera egin dezakete, Ellacuriak esan zuenez “lanak auto- eta hetero-esplotazioko hainbat molde gaitutuko” lituzkeelako, eta aukera hori aprobetxatu behar dugu. Etorkizunean, metaketa eta hazkundera ezin izango dira garapenaren motor izan. Menderatze egitura asko erregai fosilen kontsumo masiboan oinarritzen direnez, urritasunak, agian, esplotazio-erlazio askoren ahultzea ekar lezake: AEBetako armada, adibidez, petrolioaren munduko energia kontsumitzaile handiena omen da¹⁹⁵, munduko Estatu askok baino gehiago eskatuz -gutxi gorabehera, Greziak bezainbeste-

Pobreziaren zibilizazioa. Hitz gordinak dira horiek, benetan. Energiaren urritasunak, ezinbestez, pobreziaren ugaltzea ekarri beharko luke? Galdera hori erantzuteko, oso kontuan hartu behar dugu energia-kontsumo eta bizi-kalitatearen arteko erlazioa. Zein erlazio dago bi kontzeptu horien artean? 37. irudian, herri baten giza-garapena neurtzen eta islatzen duen giza-garapenaren indizearen eta biztanleko energia primarioaren kontsumoaren arteko erlazioa erakusten da, munduko herrialdeentzat.

195 Sohbet Karbuz, “The US military oil consumption”, in Energy Bulletin, <<http://www.energybulletin.net/13199.html>>



39. irudia. Giza-garapenaren indizearen eta biztanleko energia primarioaren kontsumoaren arteko erlazioa, munduko herrialdeentzat (Itur.: autoreak propio egina, IEA eta NBERen datuak erabiliz¹⁹⁶).

Ikusten denez, energia kontsumoaren eta giza-garapenaren arteko erlazioa ez da batere lineala. Gutxieneko garapen bat izateko, badirudi gutxieneko energia kontsumo maila bat ziurtatuta egon behar dela. Baina hortik gora, kontsumo eta garapen arteko erlazioa deuseztatzen da, hein handi batean: alde batetik, kontsumo maila altuak ez du ziurtatzen giza-garapen ona -Errusian, biztanleko energia kontsumoa Alemaniakoa baino handiagoa izanik, giza-garapena askoz baxuagoa da-; bestetik, posible da giza-garapen bera lortzea,

196 KEY WORLD ENERGY STATISTICS 2005, *Energy Indicators*, International Energy Agency, 48-57 or., eta *Human Development Report 2005*, *Human Development index*, United Nations Development Programme, 2005, 219-222. or.

askoz energia gutxiago kontsumituz -Japoniako giza-garapena Kanadakoa bera da, biztanleko kontsumoa erdia izanik-. Desberdintasun klimatikoek azaldu ditzakete, kasu batzuetan, aurkitutako aldeak. Kanada eta Islandiako klima hotzek, ziur aski, asko esateko izango dute herrialde horien energia kontsumo maila altuetan. Hala ere, kasu askotan arrazoiak beste motatakoak dira. Kuwait eta Saudi Arabiako kontsumo altuak petrolio eta gas naturaleko baliabideen ugaritasunari zaizkio zor, eta ez hainbeste klimari. Errusian eta Norwegian ere, horrelako zerbait gerta daiteke, herrialde horiek erregai fosilen esportatzaile netoak baitira. AEBetako energia kontsumo altuaren atzean, berriz, energia kontsumoan oso intentsiboa den bizimodua dago. Energia baliabide oso gutxiko herrialdea den Kuban, hamarkadetan jasotako blokeoak eta nazioarteko isolamenduak energia kontsumo oso murriztekin konpontzera behar izan dute herria, erakusten posible dela giza-garapen duina lortzea, energia kontsumo apalekin. Kubako giza-garapen indizea, aberats ugari biltzen omen duen Errusiakoa baino altuagoa da.

Ikusten denez, posible izan beharko litzateke bizi-maila duin bat lortzea, leku askotako energia kontsumo mailak baino gutxiagorekin. Dirudenez, bitartekoen ugaritasunak ez du gehiegi laguntzen energia hobeto erabiltze aldera, urritasunak justu kontrakoa lortzen duen bitartean. Gainera, Japoniak eta Europako mendebaldeak argi erakusten dute teknologikoki tarte handiak daudela herrialde askotan energia hobeto erabiltzeko.

Benetako arazoa, ziur aski, bizi-maila duina zein den zehatzea litzateke. Non dago duintasun maila? Vaclav Smilen irudiko¹⁹⁷, adibidez, 70 GJ/biztanle/urte-ko gutxieneko kontsumo maila erreferentziatzat har daiteke gizabanakoen oinarrizko bizi baldintzak ziurtatzeko eta garapen intelektuala ahalbidetzeko, betiere ondo kudeatu eta antolatutako

197 Ikus V. Smil, "Energy in the 20th century: resources, conversions, costs, uses, and consequences", *in Annual Review of Energy and the Environment*, 2000, 25:21-51.

berdintasunezko gizarte batean -azken puntu hau funtsezkoa da-. Kontsumo maila hori zen, hain zuzen, Japoniakoa 60ko hamarkadaren erdian¹⁹⁸, egungo munduko batezbestekoaren antzera (74 GJ/biz/urte), eta Euskal Herriko kontsumo mailaren oso azpitik (163 GJ/biz/urte). Datu hauek guztiak ikusita, posible dirudi duintasuna munduko gizabanako guztioi ziurtatzea, baina susmoa daukat, aldi berean, etorkizunean duintasun hori lortzeko *soiltasuna* ezinbestekoa izango dela, herrialde garatuen kontsumo-eredu askoren kontrakoa dena. Hala ere, soiltasunak ez dakar, ezinbestez, gizarteko arlo guztietan txarrera egiterik. Auto pribatuekiko mendekotasuna apurtzeko oinez ibiltzeko ohitura zabaltzeak, kontsumoa murrizteaz gain, baten baino gehiagoren osasunari onurak ekarriko lizkioke. Gure artean gero eta gehiago zabaltzen ari den janari-arina, eta orokorrean energia kontsumoan oso intentsiboak diren elikadura ohiturak, adin guztietako pertsonaren osasun-arazoen iturburua omen dira: obesitatea, arazo kardiobaskularrak eta abar. Lurralde-egiturari dagokionez, euskal gizartea, Europako bihotzean dagoen herri txikia izanik, beste asko baino gizarte kohesionatuago eta orekatuago bat da. Euskal Herrian ez dago Paris, Madril edo New York bezalako megahiririk, zeinek gogor nozitu dituzten urritasunaren ondorioak. Gure artean, etxebizitza adosatua eta *golf resort*-eko hirigintza-eredua, oraindik, ez daude beste herrialde garatu askotan bezain zabalduta, agintetik bultzatzen diren azpiegitura erraldoiek, askotan, kontrako norabidean garamatzaten arren.

Posible izango al da energia urriko mundu batean zabalduko litzaizkigukeen aukerak aprobetxatzea, beste mundu justuago bat lortzeko? Bai, ezbairik gabe; edonola ere, hori, beste liburu batentzako gaia liteke.

198 Vaclav Smil. *The Earth's Biosphere. Evolution, dynamics, and change*, 2002, 262. or.

Bibliografia eta beste erreferentzia baliotsu

ACKERMANN, Thomas: "Joined up thinking. Grid-integration in Germany", in RENEWABLE ENERGY WORLD, 2005eko uztail-abuztua, 158-169 or.

APPA: "APPA advierte una burbuja en el sector solar fotovoltaico: sólo hay 38 MW conectados y peticiones por 6.000 MW", prentsa komunikatua, 2006ko apirilaren 16a.

APPA; PRICEWATERHOUSE COOPERS: *Una Estrategia de Biocarburantes para España (2005-2010). Adaptación a los objetivos de la Directiva 2003/30/CE*, 2005.

APPENZELLER, Tim: "End of Cheap Oil", in National Geographic, 2004.

ASPO: ASPO Newsletters, in <<https://aspo-ireland.org/Newsletter.htm>>.

BERMEJO, Roberto: *La gran transición hacia la sostenibilidad. Principios y estrategias de economía sostenible*. 2005.

BERMEJO, Roberto: "La revolución de las energías renovables" in El Correo, 2006ko urriaren 16a.

BERRIA: "Enpresak lehengai garestiekin ere lan egiten ikasi beharrea", in Berria, 2006ko azaroaren 8a.

BHATTACHARYA, Sribas C.: "Fuel for thought. The status of biomass energy in developing countries" in RENEWABLE ENERGY WORLD, 2004ko azaro-abendua, 122-130 or.

BOSEL, Ulf: "On the way to a sustainable energy future", in Intelec '05, Berlin, 2005eko iraila.

BOSEL, Ulf et al.: "The Future of the Hydrogen Economy: Bright or Bleak?", in EUROPEAN SUSTAINABLE ENERGY FORUM, 2003.
<<http://www.efcf.com/e/reports/E08.pdf>>.

BP: *BP Statistical Review of World Energy. Putting energy in the spotlight*, 2005.

BP: "Statistical Review of Oil Reserves", 2005. in
<<http://www.bp.com/sectiongenericarticle.do?categoryId=9011008&contentId=7021601>>.

CASTRO, Fidel: "Condenados a muerte prematura por hambre y sed más de 3 mil millones de personas en el mundo", in Granma, 2007ko martxoaren 29a.

CNE: *Estadística de exploración y producción de hidrocarburos 2004*, 2004.
<http://www.cne.es/cne/doc/estad/exploracion_y_produccion2004.pdf>.

COMMISSION ON OIL INDEPENDENCE: *Making Sweeden an OIL-FREE Society*, Suedia, 2006.

CONSEIL DE DÉVELOPPEMENT DU PAYS BASQUE: *Le Double Défi Climat & Energie: quels enjeux pour Pays Basque 2020? Synthèse bibliographique*, 2006.

CONSEIL GÉNÉRAL DES LES PYRÉNÉES-ATLANTIQUES: *Session sur les énergies renouvelables*, 2006.

DE VRIES, Eize: "Thinking bigger. Are there limits to turbine size?", in RENEWABLE ENERGY WORLD, 2005eko maiatz-ekaina, 42-55 or.

DEFNEYES, Kenneth S.: *Beyond Oil. The View from Hubbert's Peak*, 2005.

EEE: *Atlas de Radiación Solar del País Vasco*, 1998.

EEE: *Energia 2004. Euskadi Datu Energetikoak*, 2005.

EEE: *Energia 2005. Euskadi Datu Energetikoak*, 2006.

EIZAGIRRE, Itziar; LIZARRALDE, Amaia: *Garapen Iraunkorra. Garatzeko bizi ala bizitzeko garatu*, 2005.

EL PAIS: "Nace en México la 'etanoinflación'. El aumento del uso del maíz para producir etanol dispara el precio de las tortillas", in <www.elpais.com>, 2007ko urtarrilaren 24a.

ELLACURIA, Ignacio: *Utopía y profetismo*, in *Mysterium liberationis. Conceptos fundamentales de la Teología de la liberación*, I. liburukia, I. Ellacuria eta J. Sobrino (editorekideak), 1990, 393-442 or.

ENERGÍAS RENOVABLES: "El mercado eólico mundial creció un 43% en 2005" in Energías Renovables aldizkaria, 2006ko martxoa, 6. or.

ENERGÍAS RENOVABLES: "Integración de la energía eólica en la red. España es diferente", in Energías Renovables aldizkaria, 2003ko abendua, 21-23 or.

EPP, Bärbel et al.: "The PV industry is gearing up", in Sun & Wind Energy, 2/2005, 80-84 or.

ERA SOLAR: "Plataforma solar de Sanlúcar la Mayor. Plantas PS10 y Sevilla PV", in ERA SOLAR, 2006ko irail-urria, 86-93 or.

EREC: *Renewable Energy Policy Review. France*, 2004.

ESPAINIAKO GOBERNUA: REAL DECRETO 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. Bereziki dekretu-osagarriaren HE4 atala, 77-104 or.

EUROSERV'ER: *Photovoltaic Energy Barometer*, 2006.

EUROSERVIER: *2005 EUROPEAN BAROMETER OF RENEWABLE ENERGIES. 5TH REPORT*, 2006.

EUROPAKO BATZORDEA: *Cómo hacer más con menos. Libro Verde sobre la eficiencia energética*, COM(2005) 265, 2005.

EUROPAKO BATZORDEA: *ENERGÍA PARA EL FUTURO: FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLES. Libro Blanco para una Estrategia y un Plan de Acción Comunitarios*, COM(97) 599, 1997.

EUROPAKO BATZORDEA: *Liburu Berdea – Europan energia-horniketaren segurtasunerako estrategia lortzeko bidean*, COM (2000) 769, 2000.

EUROPAKO BATZORDEA: *Liburu Berdea - Energia iraunkor, lehiakor eta seguruaren aldeko Europako estrategia*, COM(2006) 105, 2006.

EUROPAKO BATZORDEA: *Communication from the Commission to the Council and the European Parliament. The share of renewable energy in the EU*, COM(2004) 366, 2004.

EUROPAKO BATZORDEA: *Communication from the Commission. An EU Strategy for Biofuels*, COM(2006) 34, 2006.

EUROPAKO BATZORDEA: *Communication Staff Working Document. The share of renewable energy in the EU. Country Profiles. Overview of Renewable Energy Sources in the Enlarged European Union*, SEC(2004) 547, 2004.

EUROPAKO BATZORDEA: *Communication from the Commission to the Council and the European Parliament. The share of renewable energy in the EU. Country Profiles*, COM(2004) 366, 2004.

EUROPAKO BATZORDEA: *BIOMASS. Green energy for Europe*, EUR 2135, 2005.

EUROPAKO PARLAMENTUA: *Directiva 2000/55/CE, relativa a los requisitos de eficiencia energética de los balastos de lámparas fluorescentes*, 2000.

EUROPAKO PARLAMENTUA: *Directiva 2003/66/CE de la Comisión, relativa al etiquetado energético de frigoríficos, congeladores y aparatos combinados electrodomésticos*, 2001.

EUROPAKO PARLAMENTUA: *Reglamento (CE) n° 2422/2001 relativo a un programa comunitario de etiquetado de la eficiencia energética para los equipos ofimáticos*, 2001.

EUROPAKO PARLAMENTUA: *Directiva 2001/77/CE relativa a la promoción de la electricidad generada a partir de fuentes de energía renovables en el mercado interior de la electricidad*, 2001.

EUROPAKO PARLAMENTUA: *Directiva 2002/40/CE de la Comisión, relativa al etiquetado energético de los hornos eléctricos de uso doméstico*, 2002.

EUROPAKO PARLAMENTUA: *Directiva 2002/91/CE relativa a la eficiencia energética de los edificios*, 2002.

EUROPAKO PARLAMENTUA: *Directiva 2003/30/CE relativa al fomento del uso de biocarburantes u otros combustibles renovables en el transporte*. 2003.

EUROPAKO PARLAMENTUA: *Directiva 2003/96/CE por la que se reestructura el régimen comunitario de imposición de los productos energéticos y de la electricidad*, 2003.

EUROPAKO PARLAMENTUA: *Directiva COM (2003)453 sobre requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos que utilizan energía*, 2003.

EUROPAKO PARLAMENTUA: *Directiva COM (2003)739 sobre la eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos*, 2003.

EUROPAKO PARLAMENTUA: *Directiva 2002/31/CE de la Comisión, relativa al etiquetado energético de los acondicionadores de aire de uso doméstico*, 2003.

EUROPAKO PARLAMENTUA: *Directiva 2004/8/CE, relativa al fomento de la cogeneración sobre la base de la demanda de calor útil en el mercado interior de la energía*, 2004.

EUROPAKO PARLAMENTUA: *Security of Energy Supply - the Potentials and Reserves of Various Energy Source, Technologies Furthering Self-Reliance and the Impact of Policy Decisions*, IP/A/ITRE/ST/2005-70, DG Internal Policies of the Union, Policy Department Econ. and Scientific Policy, 2006.

EUSKO JAURLARITZA: *104/2002 DEKRETUA, maiatzaren 14koa, Euskal Autonomia Erkidegoan Energia Eolikoaren Lurraldearen Arloko Plana behin betiko onartzen duena*. 9710. or.

EUSKO JAURLARITZA: *Energia Garapen Iraunkorrerantz. Euskadi 2010 Energia Estrategia*, 2003.

EXPANSIÓN: "La Agencia Internacional de la Energía avisa de una 'doble amenaza' energética mundial", *in* <<http://www.expansion.com>>.

FAO: "Food and Agriculture Statistics Global Outlook" *in* FAOSTAT, <http://faostat.fao.org/Portals/_Faostat/documents/pdf/world.pdf>.

FAO: *Sustainable Bioenergy: A Framework for Decision Makers*, 2007.

GREENPEACE; ESTIA: *Solar Thermal Power 2020. Exploiting the heat from the Sun to combat climate change*, 2003.

GREENPEACE: *Renovables 2050. Un informe sobre el potencial de las energías renovables en la España peninsular*, 2005.

GREENPEACE: *Energy Revolution: a sustainable pathway to a clean energy future for Europe*, 2005.

GREENPEACE; EREC: *Energy [r]evolution. A SUSTAINABLE WORLD ENERGY OUTLOOK*, 2007.

GRIFFITHS, Matthew: "Pellets appeal. Where to now for the pellet market in Europe?", in *RENEWABLE ENERGY WORLD*, 2005eko martxo-apirila, 52-59 or.

HAKES, J.: *Long Term World Oil Supply*, in American Association of Petroleum Geologists. <<http://tonto.eia.doe.gov/FTP/ROOT/features/longterm.pdf>>.

HUBBERT, M. King: "Nuclear energy and the fossil fuels", in Spring Meeting of the Southern District, American Petroleum Institute, 1956.

IDAE: *Plan de energías renovables en España 2005-2010*, 2005.

IDAE: *El Sol puede ser suyo. Respuestas a todas las preguntas clave sobre instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica*, 2006. <<http://www.idae.es/doc/SolarFotovoltaica.pdf>>.

IEA: *World Energy Outlook 2002*, 2002.

IEA: *World Energy Investment Outlook 2003*, 2003.

IEA: *World Energy Outlook 2004*, 2004.

IEA: *World Energy Outlook 2005 - Middle East and North Africa Insights*, International Energy Agency, 2005.

IEA: *KEY WORLD ENERGY STATISTICS 2005*. 2005.

IEA: *World Energy Outlook 2006. Summary and Conclusions*, 2006.

IEA; EUROSTAT: *Energy Statistics manual*, 2005.

IEEE SPECTRUM: "The Unruly Power Grid", in *IEEE Spectrum*, 2004ko abuztua, 16-21 or.

IEEE SPECTRUM: "The View from the Top", in *IEEE Spectrum*, 2004ko urria.

IEEE SPECTRUM: "Danish Wind Turbines Take Unfortunate Turn", in *IEEE Spectrum*, 2004ko azaroa, 14-15 or.

IEEE SPECTRUM: "Loser: Corn-o-copia. Extravagant subsidies and low coal prices have made for some strange ethanol projects", in *IEEE Spectrum*, 2007ko urtarrila, 22-24 or.

IEEE VIRTUAL MUSEUM: "Pearl Street Station: The Dawn of Commercial Electric Power", in *IEEE VIRTUAL MUSEUM*, <<http://www.ieee-virtual-museum.org/collection/event.php?id=3456876&lid=1>>.

IKEN, Jörn: "Sector misfires", in *Sun & Wind Energy*, 1/2006, 10. or.

INFOPOWER: "Informe Mensual. Mercados de la energía", in InfoPOWER, 2005eko ekaina, 127. or.

IPCC: *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, IPCC, Volume 2, Energy, 1996.

KARBUZ, Sohbet: "The US military oil consumption", in Energy Bulletin, <<http://www.energybulletin.net/13199.html>>.

LABORARI: "Produire de l'huile-carburant et du tourteau à la ferme", in Laborari, 2006ko ekainaren 29a, 729. zenbakia, 4-5 or.

LUND, John: "Ground heat. World wide utilization of geothermal energy", in RENEWABLE ENERGY WORLD, 2005eko uztail-abuztua, 254-260 or.

MAYCOCK, Paul: "PV market update. Global PV production continues to increase", in RENEWABLE ENERGY WORLD, 2005eko uztail-abuztua, 86-99 or.

MCKILLOP, Andrew; NEWMAN, Sheila: *The Final Energy Crisis*, 2005.

MCKILLOP, Andrew: "Why We Need \$60/Barrel Oil – Update", in FINANCIAL SENSE. <<http://www.financialsense.com/editorials/mckillop/2005/0701.html>>.

MEADOWS, Donella H.; RANDERS, Jorgen; MEADOWS, Dennis L.: *Limits to Growth. The 30-Year Update*, 2004.

NAFARROAKO GOBERNUA: *Las energías renovables en Navarra en 2005*. Dirección General de Industria y Comercio, 2006. <<http://www.cfnavarra.es/industria/areas/energia/EERR%20Navarra%2020060602.pps>>.

NAFARROAKO GOBERNUA: *Plan Energético de Navarra 2005-2010*. Departamento de Industria y Tecnología, Comercio y Trabajo, 2005. <<http://www.cfnavarra.es/INDUSTRIA/areas/energia/PlanEnerg.pdf>>.

NAFARROAKO GOBERNUA: *Balance de energía final Navarra 2005*, <<http://www.cfnavarra.es/industria/AREAS/ENERGIA/Balances%20energeticos%20de%20Navarra%202004-2005.pdf>>.

NBE: *Human Development Report 2005, Human Development index*, United Nations Development Programme, 2005.

NBE-ENERGIA: *The Energy Challenge for Achieving the Millennium Development Goals*, 2006.

NIGHT, Bruce; WESTWOOD, Adam: "Global growth. The world biomass market", in RENEWABLE ENERGY WORLD, 2005eko urtarril-otsaila, 118-127 or.

OFFICE OF SCIENCE, U.S. DOE: *BASIC RESEARCH FOR THE HYDROGEN ECONOMY*, 2003.

OFFICE OF SCIENCE, U.S. DOE: *Basic Research Needs for Solar Energy Utilization*, 2005.

RABINOWITCH, Eugene; GOVINDJEE: *Photosynthesis*, 1969, <<http://www.life.uiuc.edu/govindjee/photosynBook.html>>.

RAGWITZ, Mario eta beste: *Introduction of alternative transport fuels in the European Energy Market: Techno-economic barriers and perspectives. Work package D: Hydrogen*, AFTEEM ESTO STUDY, Fraunhofer-ISI, 2003.

RAMONET, Ignacio: "El pensamiento único", in *Le Monde Diplomatique*, 1995eko abuztua.

RAMONET, Ignacio: "La chispa francesa", in *El País*, 1995eko abendua.

RAMONET, Ignacio: *Guerras del siglo XXI. Nuevos miedos, nuevas amenazas*, 2002.

REE: *EL SISTEMA ELÉCTRICO ESPAÑOL. Avance del informe 2005*, 2005.

REE: Boletines Estadísticos de Energía Eléctrica, in <http://www.ree.es/apps/index_dinamico.asp?menu=/cap07/menu_sis.htm&principal=/cap07/estadistico.htm>.

REN21: *Renewables 2005 Global Status Report*, Washington, 2005.

RIFKIN, Jeremy: *La economía del hidrógeno*, 2002.

SIEMER, Jochen: "By leaps and bounds. Overview of the world's largest photovoltaic systems", in *PHOTON International*, 2005eko ekaina, 78-91 or.

SIMMONS, Mathew R.: *Twilight in the Desert. The Coming Saudi Oil Shock and the World Economy*, 2005.

SMIL, Vaclav: *Energy in World History*, 1994.

SMIL, Vaclav: *Energies. An Illustrated Guide to the Biosphere and Civilitation*, 1998.

SMIL, Vaclav: "Energy in the 20th century: resources, conversions, costs, uses, and consequences", in *Annual Review of Energy and the Environment*, 2000, 25:21-51.

SMIL, Vaclav: *The Earth's Biosphere. Evolution, dynamics, and change*, 2002.

SMIL, Vaclav: *Energy at the Crossroads*, 2003.

STAHLKOPF, Karl: "Taking Wind Mainstream", in *IEEE Spectrum ONLINE*, 2006ko ekaina.

USGS: *USGS World Petroleum Assessment 2000 - Description and Results*, 2003. <<http://pubs.usgs.gov/fs/fs-062-03/FS-062-03.pdf>>.

WETO: *World energy technology and climate policy outlook 2030*, 2003.

Aurkibide alfabetikoa

A

Abqaiq.....	70
Abu Sa'fah.....	70
AEB, Ameriketako Estatu Batuak.....	
Energia egoera.....	249
Energia politika.....	257
Petrolioaren azkeneko erresebak.....	60
Petrolioaren ekoizpen gorena.....	60
Sorkuntza nuklearra.....	252
Aerosorgailu.....	29
APPA.....	174, 209
Arteztarau.....	97, 100, 102, 103
ASPO.....	58, 69, 70, 122-125, 127-129, 131, 144, 258
Aztarna ekologikoa.....	243

B

Bakhtiarik, Samsam.....	69
Barne-errekuntzako motorra.....	14
Baterako sorkuntza.....	31, 83
Bateria elektriko.....	23
Bermejo, Roberto.....	123, 222
Berri (petrolio hobia).....	70
Berriztagarriak.....	88, 145, 253, 254
Berriztagarren banaketa, 2004an...89, 91	
EAEko egoera.....	90
Energia berriztagarri berri.....	89, 90, 92
Potentzia ahalmen.....	212, 214, 215
Sorkuntza elektriko.....	90
Ugaltze.....	98
Biomasa.....	193, 194, 256
Adreilutxo eta bolatxo txikitxuak.....	196
Biodiesel.....	204-206, 209
Biodieselaren ekoizpena.....	206
Biodieselaren kostua.....	208

Bioerregai....	103, 104, 109, 203-209, 223, 271
Bioerregaien ekoizpena.....	208
Bioerregaien produktibitatea.....	209
Bioetanol.....	204-207, 209, 257
Bioetanolaren ekoizpena.....	206
Bioetanolaren kostua.....	208
Bioetanolaren produktibitatea.....	209
Biogasa.....	204
Biometanol.....	204
Biometanolaren produktibitatea.....	209
CO ₂ -ko isurketak.....	206
Digestore anaerobiko.....	195
Energia bektore moduan.....	223
Energia dentsitate.....	194
Eskuragarritasuna.....	198, 200, 201
Fermentazio.....	195
Gasifikazio.....	195
Kostua.....	197
Ohizko biomasa.....	90
Olio-landare.....	204
Produktibitate.....	201-203
Zenbateko.....	20
Bizkaiko Badia Elektrizitatea.....	81
Bizkaiko Badia Gas.....	81
Blair, Tony.....	248
Bossel, Ulf.....	232, 235
BP, British Petroleum .54, 55, 62, 64, 68, 69, 85, 92, 130, 143	
Brush, Charles.....	147
Bush, George.....	257

C

Campbell, Colin.....	69, 132, 144
Castro, Fidel.....	257
CLH.....	74

- CO2-ko isurketak....77, 82, 87, 88, 109, 183, 196, 205-207, 227, 238, 243
- D**
- Deffeyes, Kenneth.....127, 130
- Desglobalizazioa.....258, 259
- Diesel, Rudolf.....4, 204
- DOE, Department of Energy (AEB)224, 230, 232, 234
- E**
- EAE.....
- Berriztagarriak.....90, 91
 - Eguzki-irradiazioa.....166
 - Energia helburuak.....112, 113, 247
 - Energia politika.....111, 113, 114, 248
 - Energia termiko.....182
 - Energia-mendetasuna.....111, 114, 248
 - Erregaien garraio-kontsumo.....210
 - Garraio sektorea.....255
 - Kontsumo.....112
- Edison, Thomas Alba.....3-6, 15, 23, 27, 32, 193
- Efizientzia.....28-30, 32, 244
- Aerosorgailu.....148
 - Arteztarau.....98
 - Diesel motor.....30
 - Elektrolisia.....32
 - Erregai-pila.....32, 223
 - Findegi.....74
 - Fotosintesia.....34
 - Gasolinazko motor.....30
 - Hobekuntzak.....97, 98
 - Motor elektriko.....32
 - Zelula fotovoltaiko.....179
 - Zentral termoelektriko klasiko.....30
 - Ziklo konbinatu.....30, 82
- Eguzki-irradiazioa.....166
- Einstein, Albert.....11
- Ekoizpenaren puntu gorena.....246
- Ekonomiaren desmaterializazioa.....2, 6
- Ekuazio logistikoa.....58, 129, 130
- Ellacuria, Ignacio.....261-264, 270
- Energia.....
- Arteztarau.....106
 - Azkeneko kontsumo.....50-52
 - Bektore.....44
 - Bero.....13, 16, 53, 83
 - Berriztagarriak.....17
 - Eguzki-energia.....16, 18, 19
 - Energia primario.....47-49
 - Energia-fluxu.....17
 - Energia-kate...12, 15, 28, 45, 47, 243-245
 - Errekuntza.....16, 30
 - Fluxu.....12, 13, 241, 242, 244
 - Fluxu berriztagarri.....51
 - Helburu.....95, 96, 99-104, 106, 109-111, 137
 - Intentsitate energetiko.....51, 53
 - Iturri.....12
 - Itzulezintasun.....13, 14
 - Joule.....21
 - Kilowatt-ordu.....21
 - Lan mekaniko.....12, 13
 - Liburu Berde.....96
 - Petrolio upel.....21
 - Politika....96, 97, 100, 102, 104, 108, 109, 111, 133, 134, 139
 - Termiko.....29, 179
 - Termonuklear.....16
 - Tona petrolio baliokide.....21
 - Zenbateko.....19, 21, 22
- Energia bektore.....45, 215, 217, 218, 255
- Energia bektoreen erkaketa.....46, 218
- Energia dentsitate.....22, 23

Energia elektriko.....	Energia helburuak.....	110
Berdea.....	Plan de energías renovables.....	109, 110, 113, 159, 197, 208
Energia bektore moduan.....	Potentzia nuklear.....	28
Erregulazio-sistema .38, 40, 45, 222, 235-237	Potentzialtasun berriztagarria.....	105
Interkonektibitatea.....	Sare elektrikoaren interkonektibitatea .158	
Itzalaldi.....	Sorkuntza elektriko.....	28, 37, 43
Kontsumo.....	Sorkuntza elektriko goren historiko.....	40
Sare elektriko.....	Sorkuntza elektrikoaren karga faktorea	37
Sorkuntza banaketa.....	ESTIA.....	187
Energia nuklear.....	Europako Batasuna.....	33, 96-101, 103, 104, 108, 109, 111, 112, 114, 122, 133, 140, 167, 169
Energiaren Euskal Erakundea...90, 211, 212	Europako Batzordea.....	32, 33, 51, 96-100, 105-108, 181, 193, 209
Entropia.....	Europako Kontseilua.....	100, 158
Eoliko.....	Europako Parlamentua.....	100
Aerosorgailu.....	Euskadour.....	81
Aldakortasuna.....	Euskal Herria.....	
Elektrizitatearen kostua.....	Berriztagarrien potentzialtasuna.....	155
Energia eolikoaren hazkundea.....	Biomasaren potentzialtasuna.....	201
Erregulazio ahalmena.....	Findegi.....	74
Fidagarritasuna.....	Gas erauzketa.....	79, 80
Haize-abiaduraren iragarpenak.....	Gasbidea.....	81
Haizearen abiadura.....	Euskal Herriko Laborantza Ganbara.....	119
Itzultze-denbora.....	F	
Karga faktorea.....	FAO.....	88, 239, 257
Off-shore.....	Ford, Henry.....	5, 23, 32
On-shore.....	Fotosintesia.....	24, 33, 34, 198, 199
Potentzia dentsitatea.....	Fotovoltaiko.....	
Potentzialtasuna.....	Berreroste-plan.....	170, 171
Sorkuntza elektriko.....	BOS, Balance of System.....	164
EREC.....	Burbuila fotovoltaiko.....	174
Erregai.....	Eguzki-hortu.....	171, 172
Erregai fosil 17, 27, 44, 45, 47, 50, 134, 218, 246	Ekoizpena.....	169
Erregulazio-sistema.....	Hazkundea.....	169
Espainia.....	Ikaste efektua.....	175
Berreroste-plana.....		
Elektrizitatearen eskaera-kurba.....		

Itzultze-denbora.....	177, 178	Energia dentsitate.....	21
Kontzentrazio-sistema.....	165	Gaviota.....	79, 80
Kostua.....	169, 172, 174, 179	Geotermiko.....	
Potentzia dentsitatea.....	172	Elektrizitatea sortzeko potentzia.....	210
Potentzialitatea.....	176	Energia fluxu.....	210, 211
Produktibitatea.....	172	Ur bero eta berokuntza.....	210
Sarearekin lotutako sistema	167, 169, 174	Ghawar.....	69-71
Sistema fotovoltaiko....	162-164, 167, 171, 178	Giza-garapena.....	264-266
Sistema isolatu.....	167	Govindjee.....	198
Sistema jarraitzaile.....	165	Greenpeace....	155, 187, 193, 202, 212-215, 237-239, 248
Sistemen tamaina.....	173, 179	Grove, William.....	225
Ugaltze.....	174	Gurpil hidrauliko.....	26
Zelula fotovoltaiko.....	160-162, 164	H	
Frantzia.....		Haize-errota.....	26
Energia egoera.....	117, 249, 250	Hidrogeno.....	215, 223
Potentzialtasun berriztagarria.....	105	Antropogeniko.....	234
FreedomCAR.....	232	Banaketa-sare.....	233
G		Efizientzia.....	234, 235
Garraio sektorea.	52, 82, 136, 227, 230, 247, 255, 258, 259	Energia bektore moduan.....	223
Gas natural.....	75, 76, 80	Energia dentsitate.....	22, 230
Biltzeko egiturak.....	78	Era solidoan bildu.....	232
Birgasifikazio.....	78, 81	Erregai-pila.....	32, 223-228, 234, 235
CNG, gas natural konprimitu.....	78	Erregai-pilen efizientzia-muga.....	223
Ekoizpena.....	129	Erregai-pilen funtzionamendua.....	226
Energia dentsitate.....	77	Erregai-pilen kostua.....	224, 227
Erauzketa.....	76	Garraiatzeko metodoak.....	230
Ezaugarriak.....	76	Hidrogenoaren ekonomia.....	22
Garraio.....	77	Konprimitu.....	231
Gas hobi.....	75	Kostua.....	234, 235
Gas likidotu.....	75	Likidotu.....	230-232, 234
Gasbide.....	78, 81	Sortzeko teknikak.....	228, 229
Kontsumo.....	81, 82	Sortzeko tekniken kostua.....	230
LNG, gas natural likidotu.....	77, 78	Tenperatura altuko erregai-pila.....	228
Sorrera.....	75	Tenperatura baxuko erregai-pila.....	227
Gasolina.....		Hubbert, M.K.....	56-60, 122, 124, 251-253
		Hustutegi.....	242

I	
IDAE.....	171, 183, 208
IEA...49, 52, 53, 82, 91, 105, 112, 122, 132-134, 137, 138, 140-142, 193, 220, 248, 259-261, 265	
IGCC, Integarted Gassification-Combined Cicle.....	88, 170, 195
Ikatz.....	
Ekoizpena.....	84-87
Energia dentsitate.....	86
Erreserbak.....	85, 86
Garraio.....	87
Ikatz bituminoso.....	86
Ikatz-leiho.....	86
Kontsumo.....	84, 85
Lignito.....	86, 207
Sorrera.....	86
Ipar Euskal Herria.....	
Berriztagarrien egoera.....	118, 119
Eguzki-irradiazioa.....	166
Kontsumo.....	118
IPCC.....	183
Itsas energia.....	211, 212
Itzultze-denbora, EPBT.....	153
Izotz Aro Txikia.....	17
K	
Kapitalaren zibilizazioa.....	261
Karga faktore.....	35-38
Kiotoko Protokoloa.....	74, 97, 114
Klima aldaketa.....87, 96, 97, 108, 114, 219, 234, 254, 257	
Konposatu erradiaktiboak.....	219
Kontsumo.....	
Aurreikuspena.....	141
Komertzial.....	20
Petrolio.....	21
Primario.....	21
Kontzentrazio.....	184, 187
Krisia.....	140, 258, 261
L	
Landare-olio.....	23
Liburu Berde.....	96, 97, 107
Liburu Zuri.....	99
Lorenzo, Eduardo.....	190
M	
Mandil, Claude.....	138, 140
Mendekotasuna.....	108, 201, 247, 248, 259
Metano.....	75, 76
Metodo induktibo.....	245
N	
Nafarroako Foru Erkidegoa.....	
Berriztagarriaren egoera.....	115
Eguzki-irradiazioa.....	166
Energia helburuak.....	115, 116
Energia politika.....	114, 116
Energia termiko.....	182
NASA.....	225
NBE.....	265
Nekazaritza.....	256, 258
O	
OECD.....	133, 134
OPEC.....	133
P	
Petrolio.....	
Are asfaltikoak.....	127
Astun.....	127
Aurkikuntzak.....	56, 125
Aurkitutako erreserbak.....	64
Aurkitzeke geratzen diren baliabideak .64, 131	
Azkeneko erreserbak.....	58, 124, 129-131

Cracking.....	74	Eguzki-erradiazio.....	28
Ekoizpen gorena.....	54, 59, 122, 128, 144	Giza indar.....	25
Ekoizpen metatua.....	57, 64, 129	Sorkuntza hidroelektriko.....	28
Ekoizpena.....	55, 57-59, 129, 130	Sorkuntza termoelektriko.....	27
Energia dentsitate.....	21	Watt.....	24
Erauzketa.....	60, 64-66, 71	Zamabereena.....	25
Erauzte-erraztasuna.....	57	Zenbateko.....	25
Erreserba frogatuak.....	64, 123, 131, 132	Zentral hidroelektriko.....	27
Erreserba posibleak.....	64, 131, 132	Zentral nuklear.....	27
Erreserba probableak.....	64, 131, 132	PVGIS.....	167
Erreserbak.....	55-57, 59, 63, 67, 123, 127	R	
Eskistoak.....	127, 128	Ramonet, Ignacio.....	1-3
Eskuragarritasuna.....	56	REE, Red Eléctrica de España....	37, 39, 42, 43, 156, 247
Ez-konbentzional.....	123, 125, 126	Rifkin, Jeremy.....	22
Findegi.....	72-74	RPS, Renewable Portfolio Standard.....	96
Hobi.....	61-66, 68, 70, 71	S	
Hubberten kurba.....	56, 60	Safaniya.....	70
Hubberten pikoa.....	60	Sare elektriko.....	38, 39
Hydroskimming.....	73	Saudi Arabia.....	70, 72
Konbentzional.....	124	Ekoizpen gorena.....	71
Kontsumo.....	55, 56	Erreserbak.....	69, 71
Mendekotasuna.....	144	Ghawar-eko ekoizpena.....	70
Petrolio erreserba.....	62	Ghawar-eko erreserbak.....	70
Petrolio-berreskurapena.....	65	Petrolio ekoizpena.....	72
Petrolio-leiho.....	61	Saudi Aramco.....	69, 71, 76
Petrolio-zutabe.....	61, 66	Shell Oil.....	56, 60, 92
Putzu.....	64-67, 69, 71	Silizio.....	160-162, 169, 174, 179
Sintetiko.....	126	Simmons, Matt.....	67, 69-71
Sorrera.....	60	Smil, Vaclav.....	3, 24-26, 155, 198, 211, 267
Teoria abiogenikoa.....	122	SolarMission Technologies, Inc.....	190, 191
Uraren injekzio.....	66, 67, 71	T	
URR.....	63, 123, 124	Termiko.....	
Petronor.....	74	Eguzki-tximinia.....	189-193
Pobreziaren zibilizazioa.....	263	Instalatutako potentzia.....	181
POLES.....	141	Ispilu-sistema.....	184, 185
Potentzia.....	24		
Aerosorgailu.....	27		

Karga faktore.....	187	Ur-errota.....	26
Kostua.....	183, 188	Uraren ziklo.....	20
Potentzialitatea.....	180	USGS.....	122-124, 127, 128, 131, 132, 135
Sistema termiko.....	182-184	W	
Sistema termoelektiko.....	184-187, 189	Watt, James.....	26
Temperatura altuko energia termiko....	184	WETO.....	122, 132, 133, 140-143, 220
Temperatura baxuko energia termiko .	181, 184	World Energy Outlook....	134, 137, 138, 140, 237, 238
Termodinamika.....	11, 13, 14, 30, 241-246	Z	
U		Zaldi-potentzia.....	26
Unión Fenosa.....	190	Ziklo konbinatu.....	31, 32, 82, 83

Gaurko eredu kapitalistaren atal ahuletako bat energia da. Mundu guztiak onartzen du erregai fosilak xahutzea etorkizunik gabeko jokabidea dela, hainbat arrazoiren ondorioz. Liburu honetan, Gorka Buenok arrazoï horiek aztertzen ditu, energia zertan den azaltzen digu eta, arazoak ikusirik, izan litezkeen irtenbideak ere aipatzen ditu.

Lan zehatza dugu hau, ikuspuntu teknikotik, baina irakurgarria ere bai. Gai honetan, beste askotan bezala, azterketa sakonak gutxitan izaten dira, eta oraingo honetan egileak taxuzko lana egin du, axalean geratzen ez dena. Testu hau euskaraz idatzita dago. Egileari esker ona agertzea zor zaïo, gure hizkuntzan honelako ekarpenak ez baitira sarri agertzen.

Politika energetikoa zuzentzen eta erabakitzen dutenek gizarteari sinetsarazi nahi diote gauzak apur bat aldatuta sistema osoak bere horretan jarrai dezakeela. Hots, berotze globalak eredu energetiko eta ekonomikoarekin zerikusï handia duela begibistakoa den arren, aski omen litzateke zuzenketa txiki batzuk egitea berotze horren ondorioak mirariz leuntzeko, eta produkzioaren nahiz energia-kontsumoaren etengabeko hazkundera zalantzan jarri beharrik ez legoke.

Noski, horrela jarraituz gero enpresen etekinak gero eta handiagoak izango dira. Baina liburu honek adierazten duen legez, sakoneko auzia eredu hau zalantzan jartzean eta eredua errotik aldatzean datza. Erronka honi aurre egin behar diogu, eta lan honek aldakuntza hori bultzatzeko kezka hedatuko duela espero dugu.

Mikel Noval

ELAko Ingurumeneko arduraduna

Ezin dugu ahaztu energia sistema produktiboan funtsezko osagaia dela. Energia kontsumoaz hitz egitea klimaren aldaketaz, hondakinez eta kontaminazioaz jardutea da, baina batez ere baliabideen agortzeaz, inbertsioen beharraz eta bizi-kalitateaz hausnartzera behartzen gaitu. Energiari buruzko gaurko debatea itxuraz oso teknikoa dela eta sindikalismoarekin zerikusirik ez duela pentsa badaiteke ere, langileklaseak bete-betean jasaten ditu gorabehera energetikoen ondorioak, behargin, kontsumitzaile eta herritar den aldetik. Egilearen tesi nagusiak zer pentsatua ematen du: egungo eredu energetikoa zeharo aldatu beharra dago. Gorka Bueno oreka bilatzen saiatu da liburu honetan, aldi berean teknikoki zorrotza eta gaia ezagutzen ez dutenentzat ulergarria izan zedin. Baina horretaz gainera, nabari da militantearen kezka soziala.

Fernando Iraeta

Manu Robles-Arangiz Institutua fundazioko zuzendaria