# Transesterifikazioak. Biodieselak.
## Nola lortu biodiesela sukaldeko olioa erabiliz?

**Fernando Mijangos Ugarte (koord.)**

ueu

# Transesterifikazioak. Biodieselak.

## Nola lortu biodiesela sukaldeko olioa erabiliz?

Eneritz Anakabe Iturriaga
Sonia Arrasate Gil
Gorka Bueno Mendieta
Fernando Mijangos Ugarte
Estibaliz Olivares Esteban

Udako Euskal **Unibertsitatea**
Bilbo, 2011

© Udako Euskal Unibertsitatea
© Fernando Mijangos Ugarte

ISBN: 978-84-8438-344-4
Lege-gordailua: BI-1923-2011

Inprimategia: CUATROAS, Bilbo
Azalaren diseinua: Igor Markaida
Hizkuntza-zuzenketen arduraduna: Ander Altuna Gabiola

Banatzaileak: UEU. Erribera 14, 1. D BILBO telf. 946790546 Faxa. 944793039
Helbide elektronikoa: argitalpenak@ueu.org
www.ueu.org

Elkar Banaketa: Igerabide, 88 DONOSTIA

Galarazita dago liburu honen kopia egitea, osoa nahiz zatikakoa, edozein modutara delarik ere, edizio honen Copyright-jabeen baimenik gabe.

# Aurkibidea

**TALDEKIDEAK. AITZINSOLASA ..... 7**

**SARRERA ..... 11**

**1. ENERGIA ETA POLITIKA ENERGETIKOAK ..... 15**
1.1. Energia ..... 15
1.2. Erregai fosilak ..... 17
1.3. Energia berriztagarriak ..... 20
1.4. Biodieselak ..... 23
1.5. Berotegi-efektua ..... 25
1.6. Biomasaren potentzialtasuna Euskal Herrian ..... 29
1.7. Bibliografia ..... 31

**2. LANDARE-OLIOEN IKUSPUNTU KIMIKOA ..... 33**
2.1. Olioak eta gantzak: funtzioak ..... 33
2.2. Triglizeridoen erradikalak ..... 34
2.3. Gantz-azidoen propietateak ..... 39
2.4. Zenbait landare-olioren osagai nagusiak ..... 40
2.4.1. Koltza-olioa (*Brassica napus*) ..... 41
2.4.2. Ekilore-olioa (*Helianthus annuus*) ..... 41
2.4.3. Soja-olioa (*Glycine max*) ..... 41
2.4.4. Palma-olioa (*Elaeis guineensis*) ..... 41
2.4.5. Oliba-olioa (*Olea europaea*) ..... 41
2.5. Bibliografia ..... 42

**3. TRANSESTERIFIKAZIOAREN IKERKETA ZINETIKOA ..... 43**
3.1. Transesterifikazioan eragiten duten aldagaiak ..... 44
3.1.1. Erreaktiboen kalitatea ..... 44
3.1.2. Metanolisiaren abantailak ..... 44
3.1.3. Alkoholaren eta olioaren arteko erlazio estekiometrikoa ..... 45
3.1.4. Katalizatzaile mota eta haren kontzentrazioa ..... 45
3.1.5. Agitazioa, tenperatura eta erreakzio-denborak ..... 46

3.2. Mekanismoa ... 47
3.3. Bibliografia ... 56

**4. ERREAKTIBOAK ETA TEKNIKA ESPERIMENTALAK ... 57**
4.1. Sarrera ... 57
4.2. Erreaktiboak ... 58
4.3. Ezaugarritze-teknikak ... 59
4.3.1. Analisi elementala ... 59
4.3.2. Balorazio bolumetrikoa ... 60
4.3.3. Kalorimetria ... 60
4.3.4. Piknometria ... 62
4.3.5. Biskosimetria ... 63
4.3.6. Protoiaren erresonantzia magnetiko nuklearra ... 63
4.3.7. Iodometria ... 63
4.3.8. Destilazio-kurbak ... 64
4.3.9. Gas-kromatografia eta masa-espektroskopia ... 64
4.4. Prozedura esperimentala eta olioaren egokitzea ... 65
4.4.1. Iragazketa ... 67
4.4.2. Deshidratazioa ... 67
4.4.3. Azidotasunaren determinazioa ... 67
4.4.4. Metoxidoaren prestaketa ... 67
4.4.5. Transesterifikazioa ... 67
4.4.6. Fase-banaketa ... 67
4.4.7. Purifikazioa ... 67
4.4.8. Ezaugarritzea ... 70
4.5. Emaitzak eta eztabaida ... 70
4.5.1. Analisi elementala ... 70
4.5.2. Azidotasun-indizea ... 71
4.5.3. Bero-ahalmena ... 72
4.5.4. Dentsitatea ... 73
4.5.5. Biskositatea ... 74
4.5.6. Protoiaren erresonantzia magnetiko nuklearra ... 76
4.5.7. Iodo-indizea ... 76
4.5.8. Destilazio-kurbak ... 79
4.5.9. Gas-kromatografia eta masa-espektroskopia ... 84
4.5.10. EN 14214 europar araua betetzeko analisiak ... 85
4.6. Ondorioak ... 87
4.7. Bibliografia ... 88

# Taldekideak. Aitzinsolasa

Liburu baten izenean *Transesterifikazioak. Biodieselak. Nola lortu biodiesela sukaldeko olioa erabiliz?* irakurtzen duzunean, dardara berezi bat senti dezakezu zure gorputzean, irakurle maitea, hitz batzuk guztiz ulergarriak egiten zaizkizun bitartean, ulertu ez dituzun horiek hotzikara ematen baitizute.

Guk, liburu honen egileok, eta *Transesterifikaziok. Biodieselak* deituriko ikerkuntza-proiektuko kideok, zalantza asko izan ditugu hasiera-hasieratik, UNESCO Katedrakoei eta UPV/EHUko ikerkuntza-errektoregoari gai horren inguruan zerotik abiatuta ikertu nahi genuela esan genienetik, urte bi pasatu eta gero lortutako ikerkuntzaren emaitzak aditzera eman arte; eta, noski, dardara-sentsazio hori arrunt bilakatu da guretzat.

Eneritz Anakabe eta Sonia Arrasate UPV/EHUko Zientzia eta Teknologia Fakultateko Kimika Organikoa Saileko irakasleak dira, Gorka Bueno UPV/EHUko Industri eta Telekomunikazio Ingeniarien Goi Eskolako Elektronika eta Telekomunikazio Saileko irakaslea da, Estibaliz Olivares proiektuak berak kontratatutako ikertzailea (izan) da, eta Fernando Mijangos UPV/EHUko ZTFko Kimika Fisikoa Saileko irakaslea. Bostok batera parte hartu dugu Udako Euskal Unibertsitateko, UEUko, Kimika Sailak azken urteetan antolaturiko udako ikastaroetan: kimika eta jasangarritasuna, kimika eta berotegi-efektua, eta antzekoak. Horiek eman digute hausnarketarako gogoa eta grina.

Bostok izan dugu hasiera-hasieratik kezka bera, hots, nola lotu ahal ditugun gure eguneroko bizimodua, gure eguneroko lana (Kimikako edota Energiako irakasleak), gure unibertsitatea, gure gizartea, jasangarritasunarekin; eta horretan zer urrats eman ahalko genituzkeen. Buruan genuen ideia, ideia besterik ez zen; garapen jasanezin honetan neurri handi-handiak proposatu baino nahiago genuen norberak bere txikitasunean eman ahal dugun urrats bat izatea eta horrela agertu zitzaigun «argia».

Irakurle maitea, zer egiten duzu zuk etxean ekoizten duzun frijitzeko olio erabiliarekin, egunero-egunero zartaginean dugun olio erabili horrekin? Galdera hau sarri egin diogu publikoari gai horretaz hitzaldi bat eskaini dugunean, artikuluak idatzi ditugunean, eta lortu ditugun erantzunekin maiz gure aurpegiak gorritu egin dira. Eta are eta aurpegia gorriago, bakoitzari kontuak eskatu barik, olio-bilketa makroskopikoaren datuak konparatzen baditugu.

Beraz, beste barik goazen liburu honen funtsa zein den azaltzera, agian horretarako zu, irakurle maitea, jadanik irrikan zaudelako. Guretzat landare-olioak elikagaiak dira eta haien izaera kimikoa ezaguna da; oxigenoarekin erretzen direnean erreakzio exotermikoak gertatzen dira eta askatzen duten energia gasolinak edo gasolioak askatzen dutena bezainbatekoa da, hau da, energia-iturria izan daitezke. Baina kontu handiz ibili behar da testuinguru honetan ea ez den gertatzen gertatzeko hurbil izan duguna, hau da, bizidunei elikagai bat kendu (landare-olioak) automobilei erregaia emateko. Horregatik ez dugu olio gordinaz hitz egiten, baizik eta guztiok etxean sortzen dugun hondakin horri buruz: zer egiten duzu frijitzeko olio erabiliarekin?

Urte bi, gutxi gorabehera, egon gara gai hau jorratzen teorikoki zein esperimentalki. Energiaren arazo mundialak, erregai fosilak eta berriztagarriak, gasen kanporaketek sortzen duten berotegi-efektua izan dira gure esparru teorikoa. Horrekin batera, etxetik ekarritako olio erabiliak biodiesel bihurtzeko transesterifikazioa deitzen den erreakzioa ikertu eta laborategian hainbat froga egin ditugu, erreakzioaren etekinak kalkulatu, lortutako produktuak isolatu, identifikatu eta abar. Urte bi egon gara laborategian inurri-lana egiten, ehunka analisi kimiko, hamarka teknika esperimental menderatu, eta lortutako emaitza zientifikoak ulergarri bihurtu, transesterifikazioa deituriko erreakzioa ulertu eta aprobetxatu ahal izateko. Eta hori guztia liburu honetan laburbiltzen saiatuko gara. Zer esango diguzu, irakurle maitea, hotzikarak sentitu eta dardarka egoteari buruz, bada?

Eskerrak eman nahi dizkiegu gure ikasleei, eurak izan baitira gure eguneroko jokabide eta irakaskuntza kuestionatu digutenak, ea zer egiten dugun kimikariok jasangarritasunarekin, ea irakasten dugun guztia praktikara eramateko biderik dagoen eta abar. Zorionez, gaurko ikasleak kontzientziatuago daude ingurumenaren arazoekin, uraren kutsadurarekin eta, beraien sentsibilitateari esker, lan hau aurrera eramateko eta amaitzeko akuilua beti izan dugu.

Eskerrik asko etxetik olio erabilia ekarri diguzuen guztiei, zenbat olio batu ahal izango genukeen zuek emandako datuekin jakin ahal izan dugulako. Harrituta begiratzen zeniguten zuekin laborategian olio hauei metanola eta sosa gehitu ostean ordu batzuk pasatu ondoren lorturiko metil esterrak biodieselak zirela esaten genizuenean. Zenbat aldiz ez dugu entzun behar izan zuen galdera ospetsua: baina benetan hau biodiesela da? Hau erabil daiteke biodiesel bezala?

Eskerrik asko Zientzia eta Teknologia Fakultatean dagoen SGIker-ekoei, ikerkuntzarako zerbitzu orokorra, egindako analisiengatik. Halaber, eskerrak eman nahi dizkiegu fakultate bereko Kimika Fisikoko Sailekoei, zehazkiago Kimika Makromolekularrekoei, beren laborategian hainbat jarduera praktiko burutu ditugulako.

Oztopo asko eta asko gainditu behar izan ditugu etxeko olio erabili hori, guztiok «birziklatzen» dugun hori, noski, non amaitzen den jakiteko; eta zenbat olio erabili batu ohi den udaletan jakin ostean, zati handi-handia oraindik azaldu gabe geratzen zen. Hori bai ur-araztegietara bisita bat egiten denean, orduan ikusten da non bukatzen duen guztiok «birziklatzen» dugun olio erabili horrek.

Liburu honen irakurketa ez zaizu erraza egingo, irakurle maitea, atal desberdinez osatuta baitago eta horietariko batzuk agian teknikoegiak izan daitezkeelako. Baina gauza asko eta asko ulertuko dituzulakoan gaude, bestela zertarako idatzi, ezta? Eta seguru gaude gure ikasleei gertatu zaiena zuri ere, irakurle maitea, gertatuko zaizula: sekula santan berriro ez duzula olio erabilia harraskatik botako, ez zuk ezta zure etxean bizitzen direnek ere, zu horretan temati jarriko baitzara.

Eskerrak eman nahi dizkiegu UNESCO Katedrakoei eta UPV/EHUri proiektu hau diruz laguntzeagatik. Udako Euskal Unibertsitatekoei ere eskerrak luzatzen dizkiegu azken uda hauetan mintegiak eta saio praktikoak egiteko aukera eman diguzuelako.

Gure filosofia, behin eta berriro nonahi aipatzen duguna, esaldi bakar batean laburbildu ahal dugu: Small is beautiful, my friends.

Leioa, 2011-02-01

# Sarrera

Eskuen artean duzun liburu honek zerikusia dauka kimikarekin, energiarekin, ingurumenarekin, berotegi-efektuarekin eta jasangarritasunarekin, azken finean gure ingurua garbiago mantentzeko guztiok eman ahal dugun urrats txiki batekin; hain zuzen ere, norberak bere etxean harraskatik desagerrarazten duen landare-olio erabiliarekin; eta zertan datzan saiatuko gara azaltzen hurrengo orrietan.

Landare-olioak triglizeridoak dira, azido koipetsuen ester glizeridoak, alegia; azido koipetsu hauek $(CH_2)_n$ jarraitua nahiko luzea dute, n = 16-20 delarik. Kate luze horren muturrean azido taldea izango dugu, COOH, eta hiru azido talde hauek glizerina ($CH_2OH–CHOH–CH_2OH$) molekula batekin lotzen direnean, ester glizeridoak ekoizten dira; guk horiei landare-olio deitzen diegu orokorki eta familiarki.

Jatorri fosila duen gasolioa, diesel motorrean erregai bezala erabiltzen dena, antzeko molekula bat da, $–(CH_2)–$ jarraitu bat izanik, beraz, antzeko molekulak dira. Esango genuke bi likido horien artean dagoen diferentzia bakarra ester taldeari dagokion –COO– multzoa dela; eta hori horrela izanik, batek baino gehiagok seguru entzun duela gasolioa garestiegi egon denean eta, aldiz, landare-olioen prezioa baxua izan denean, autoari gasolioa bota beharrean olio gordina botatzen ziotela.

Baina bi likido horien artean egon badago beste diferentzia handi bat eta hori biskositateari dagokiona da; askoz biskosoagoa da landare-olioa gasolioa baino, eta hori asko igartzen omen da azelerazio kontuan. Are gehiago, ezin dugu ahaztu neguan tenperatura baxua, hotza, denean landare-olioak «izoztu» egiten direla, hau da, biskositatea ia infinitua aurkezten duela. Landare-olioek gasolioarekin aldenduta aurkezten duten ahulezia hau konpontzeko, transesterifikazio-erreakzioa aplikatzen zaie, hau da, landare-olioa inguru basiko batean metanolarekin erreakzionarazten dute, eta erreakzioaren produktuak azido koipetsuen metil esterrak eta glizerina dira. Ingelesez, Fatty Acids Methyl Esters (FAME).

Azido koipetsu hauen metil esterrei biodiesela deitu ohi zaie ere, haien biskositatea, olioarena baino hamar aldiz baxuagoa izan ohi da, gasolioarena bezainbestekoa, beraz, baditugu erregai erabilgarri bi: jatorri fosila duen gasolioa eta biomasatik lor daitekeen biodiesela, energia fosila eta energia berriztagarria.

Ohitu gara entzuteaz energia fosilek berotegi-efektuari laguntzen diotela, petrolioa agortzear dagoela, eta etorkizunari begira aurkitu eta garatu beharko direla energia berriztagarrien potentzialtasunak, besteak beste Europar Batasunak 2020 urterako energiaren arloan dituen asmoak bete nahi baditu. Honek bazirudien metil esterren etorkizun oparoa esleitzen zuela, baina elikagaien prezioen igoeran izandako eragina kontuan hartuta, Europa bere politika energetikoa birplanteatzen ari da gaur egun. Hain zuzen ere, horretaz arituko gara liburu honen lehenengo kapituluan, energiaren arazoaz hitz egiten dugunean. Besteak beste, garraioan kontsumitzen ditugun erregai fosilak (gasolina edota gasolioa) bioerregaien bidez ordezkatu nahi izango bagenitu, agian Lurraren moduko beste zazpi planeta gehiago beharko genituzke. Azken finean, Fidel Castro Komandanteak behin bota zuen galdera burura datorkigu: *¿Es sostenible dar de beber a los coches en vez de dar de comer a las personas?*

Liburuaren bigarren gaian, landare-olioen kimikan eta haien ezaugarri organikoan murgilduko gara, petroliotik eratorritako gasolioak dituen konposatu kimikoak eta beraien propietateak alderatu ahal izateko. Azido koipetsu hauen metil esterrak, FAME hauek, landare-olioen jatorri desberdinetatik lor daitezke, eta, beraz, haien metil esterrek propietate apur bat desberdinak aurkeztuko dituzte jatorriaren arabera, noski. Ez dira berdinak oliba-olioa edo soja-olioa eta, ondorioz, haien metil esterrak ez dira guztiz berdinak izango. Propietate batzuk orokortuko ditugu diesel eta biodieselen arteko diferentziak agerian ipintzeko.

Arestian aipatua izan denez, prozesu edo erreakzio kimiko batek jartzen dituen arauak olioei aplikatu behar zaizkie biodieselak eskuratzeko, eta honi deitzen diogu transesterifikazio-erreakzioa. Erreakzio kimiko hau arretaz aztertu dugu hurrengo bi kapituluetan, hala bere erreakzioaren azterketa zinetikoa, edo baldintza esperimentalen aukeraketa, katalisia eta tenperaturaren eragina, nola transesterifikazioaren kimika. Kimikariok erreakzio kimiko baten ondorioz lorturiko produktuak garbitu, isolatu, purifikatu eta identifikatu behar ditugu, hau da, guk aukeratutako baldintza esperimentaletan frijitzeko erabilitako oliotik metil esterrak eskuratzen ditugula ziurtatu behar dugu eta horixe da kapitulu honen beste azpiatal bat.

Metil ester hauek ezaugarritzeko laborategian egindako analisiek, neurturiko propietateek eta, noski, erabilitako teknika esperimentalek osatzen dute kapitulu hau. Ez dugu orri asko idatzi nahi izan eta, horregatik, esaera zahar batek dioena kontuan hartu dugu atal honetan: laburra eta ona, bi aldiz ona. Transesterifikazio-erreakzio hau erabil dezakegu bai olio gordinekin bai olio erabiliekin, prozedura esperimentalean doiketa batzuk egin beharrean aurkitzen garen arren. Kapitulu hau amaitu dugu biodieselek bete behar duten EN14214 arauak ezartzen dituen balioekin konparazio bat eginez.

Hurrengo kapitulua apur bat prosaikoagoa da eta erabilitako olioen bilketarekin zerikusia dauka, hau da, zenbat olio erabili ekoizten dugu etxean? Eta udalek ipinitako biltokietan, zenbat litro batzen dira? Eta batzen ez dena, non amaitzen da? Tontakeria iruditu arren, ez pentsatu galdera hauei erantzun kuantitatiboa ematea kostatu ez zaigunik. Aztoratuta ibili gara datuen bilketa eginez, datu kuantitatiboak idatzi ahal izateko. Irakurri eta gero, again, olio erabilien bilketak duen zailtasunaz jabetuko gara eta gure «txipa» aldatuko dugu.

Azken kapitulurako hausnarketa teorikoagoa den konparazio bat egin nahi izan dugu, bai gure datuak eta gure esperientzia erabiliz, bai bibliografiak erabiliz ere. Ez da erraza suertatzen esatea zein den ingurumenarekiko egokiagoa edo garbiagoa, gasolioa ala biodiesela. Horretarako azken urte hauetan prozedura eraginkorra garatu izan da, Bizitza Zikloaren Analisia deitzen dena, ingelesez Life Cycle Assesment (LCA), eta hauxe azaldu nahi izan dugu azken kapituluan. Guk lorturiko datuekin ondorio zehatza atera dugu: **unibertsitatean bertan ikasle, irakasle eta administrazioko langileek ekarritako olio erabilia batuko balitz eta bertan transesterifikatuko balitz, lortu genezakeen biodieselaren ezaugarriak onenak izango lirateke, zalantzarik gabe.**

Puzzle honetako zatiak kapituluka sailkatu ditugu, gai bakoitzaren izenburua nahiko adierazgarria delarik atal horretako edukiaren irudi orokor bat ateratzeko. Irakurleak akatsik aurkituko balu, guri jakinaraztea eskertuko genioke.

Liburu honen idazkera amaitu ostean lasaitu gara, mendi gogor baten tontorrera igo ostean motxila gainetik kentzen dugunean bezala. Hala ere, urduri gaude oso, ez baitakigu zein izango den zure sentsazioa liburu hau irakurri ostean, irakurle maitea.

# 1. Energia eta politika energetikoak

## *1.1. ENERGIA*

Jatorri etimologikoari dagokionez, aspaldiko garaietatik dator energia hitza. Grezierazko *energeia* hitzetik sortu zen, gero latinez *energia* forma hartu zuen eta hortik iritsi da gure egunetara. Eguneroko erabileran, energia hitzak hainbat adiera ditu hizkuntza arruntean, hala nola 'kemena', 'adorea', 'dinamismoa', 'indarra', 'potentzia'… Dena den, liburu honetan energia aipatzen dugunean bestelako esanahi zehatzago bat emango diogu, hain zuzen ere *sistema batek lana egiteko duen ahalmenaren neurria.*

Esperimentalki egiaztatu denez, energiaren kontserbazioa naturan gertatzen diren fenomeno guztiek betetzen duten funtsezko legea da. Energiaren kontserbazioaren legea XIX. mendearen erdialdean egiaztatu zen eta onartua izan zen zientzialarien artean. Izatez, energiaren kontserbazioa ez da naturan gertatzen den fenomenoen deskripzioa, fenomenoen bilakaerari buruzko baieztapena baizik, energia izeneko kantitatea, edozein fenomeno fisiko gertatzen delarik ere, aldatu gabe geratzen den kantitatea da (EVE, 2000).

Energia biziaren ezinbesteko baldintza da. Bizidun orok, biziko bada, energia behar du hainbat funtzio bete ahal izateko. Funtsean izaki bizidunak behar duen energia, energia kimiko gisa metatzen du bere organismoan. Gizakiaren oinarri-oinarrizko energia-beharrak elikadura eta arnasketaren bidez asetzen dira. Milaka urtetan, gizakiak lan egiteko bere muskuluen indarra beste energia-baliabiderik ez zuen izan. Ondoren, hezitako animalien, abereen indarraz baliatzen ikasi zuen.

Suaren aurkikuntzari esker, gizakiak ingurunetik lor zezakeen energia kantitatea izugarri handitu zen. Batetik, suak giza gorputzaren berotze-beharrak kanpo-iturri baten bidez asetzeko aukera eman zuen, giro hotzean berotasuna gordetzeko modu bakarra ingurunetik isolatzea baitzen, hau da, arropa janztea. Gainera, bero-energia handia behar zuten prozesu batzuk burutzeko modua ere lortu zuen: burdingintza, buztingintza… Sua egiteko egurra, bestelako landare-gaiak eta egur-ikatza erabiltzen ziren, hau da, biomasa-energia. Bestetik, zenbait gertakari naturalen energiaz ere baliatzen ikasi zuen gizakiak, uraren edo haizearen indarraz, adibidez. Lehena energia hidraulikoa da, eta errotak mugiarazteko erabiltzen zen. Bigarrena, haize-energia, belaontziak bultzatzeko eta haize-errotak birarazteko erabili zen.

Industria Iraultza gertatu arte, horiexek izan ziren gure gizarteak erabilitako energia-iturriak. Beharrekin alderatuta, energia-baliabideak ia mugaezinak zirela esan zitekeen. Orain dela 260 urte inguru, lurrun-makina asmatu zen eta horixe izan zen gerora abiatuko zen Industria Iraultzaren pizgarria. Harrikatza errez eta bero horrekin ur-lurruna presiopean sortuz, hamaika zaldiren adinako indarra zuen makina eraiki zen. XIX. mendearen amaieran, lurrun-makina batek lehen aldiz elektrizitate-sorgailuari eragin eta elektrizitatea sortu zuen. Aldi bertsuan, argindarra banatzeko sistema antolatu eta lehen zentral hidroelektrikoa eraiki zen.

Petrolioa lehendik aurkitua zegoen, baina ez zen ezer berezitarako erabiltzen. XIX. mendearen amaieran, ordea, erregaitzat erabiltzen hasi zen, eta handik gutxira, XX. mendearen hasieran, automobilen motorrek behar zuten gasolina lortzen hasi zen petroliotik. Horren ondorioz, energiaren kontsumoak gorakada itzela izan zuen eta geroztik handituz joan da etengabe. Bistan denez, urte horietan ez zegoen inolako kezkarik ez energia-iturriak agortzeko arriskuaz, ez energiaren arrazoizko erabileraz, ez eta energiaren kontsumoak ingurumenean izan zezakeen eraginaz ere.

Hurrena energia nuklearra izan zen. Lehergailu atomikoak egiteko erabili zen lehenik, baina laster erreakzio nuklearrak kontrolatuz gero energia asko lor zitekeela ikusi zen eta horren bidez, elektrizitatea sortzeko, zentral nuklearrak eraikitzen hasi ziren, batez ere petrolio-upelaren prezioaren gorakadarekin batera, XX. mendearen 70eko hamarkadan. Zentral nuklearren eraikitzeak gizartean eztabaida piztu du oso istripu arriskutsuak gertatu direlako: Three Miles Island-en (1979), Txernobilen (1986), eta lerro hauek idazten ari garen une hauetan tsunami batek eragindakoa Japoniako Fukushiman (2011).

Energiaren ustiapenak, produkzioak eta kontsumoak ingurumenean duten eraginari buruz eta egun ustiatzen ditugun energia-baliabideak agortzeko arriskuari buruz hainbat kezka jarri dira mahai gainean. Energia-baliabideak agortzeko arriskua dela-eta, jakina da petrolio, harrikatz eta gas naturalaren erreserbak mugatuak direla. Une honetan petrolioaren agortzea da bereziki garrantzitsua, beste bien erreserbak handiagoak baitira; gainera, kontuan izan behar dugu hiru erregai fosiletatik petrolioa dela garraioan erabiltzen diren erregai ia guztien iturria. Horrelako energia-iturriak berriztagarriak ez direla esaten da, eta hortaz ulergarria da azken urteotan agortzen ez diren energia-iturriek hartu duten interesa, hau da, energia berriztagarriak.

Ondoko 1.1. taulan ikus daitezke erregai fosilen ustezko erreserbak. Aditu batzuek uste dute oraindik erauzteke geratzen diren erreserbak itzelak direla (Dermibas, 2008). Hala eta guztiz ere, benetan frogatuta dauden eta teknologikoki eta ekonomikoki bideragarriak diren erreserba fosilak askoz murritzagoak dira (British Petroleum, 2010).

| Harrikatza | Pizarraren olioa | Petrolio gordina | Gas naturala | Iturria |
|---|---|---|---|---|
| 320,0 | 79,0 | 37,0 | 19,6 | Dermibas (2008) |
| 17,2 | - | 8,5 | 6,8 | BP (2010) |

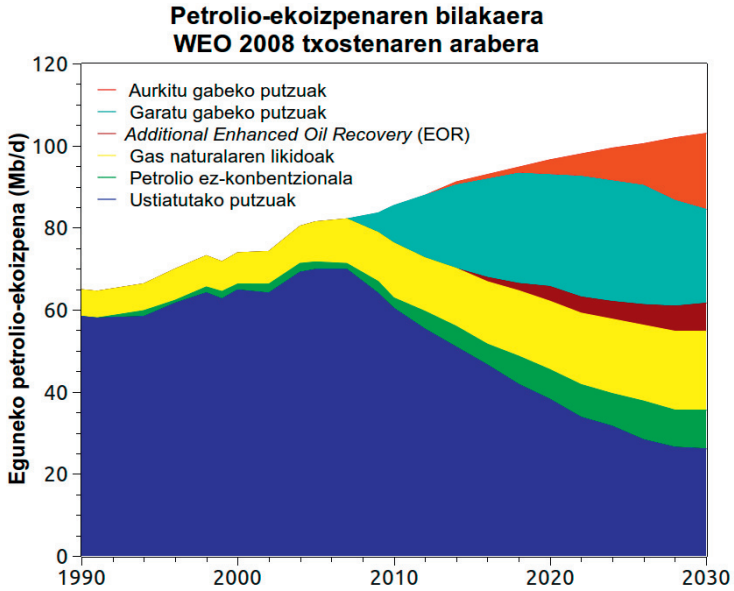
**1.1. taula. Munduko energia-erreserbak. BPk bakarrik erreserba frogatuak balioesten ditu (unitatea: zettajoulea, edo $1 \cdot 10^{21}$ J).**

## *1.2. ERREGAI FOSILAK*

Erregai fosilek energia-kontsumoaren % 80 baino gehiago asetzen dute gaur egun, baina etorkizunari so eginez, badirudi haien garrantzia behera doala erreserbak agortu eta energia berriztagarriak garatuko diren heinean.

Petrolio hitza latinetik, *petra* eta *oleum* hitzetatik, dator. Kimikoki aztertuta, petrolioa hidrokarburoen nahaste zabal bat da, naturan egoera gaseoso, solido, edo likidoan aurkitzen da eta jatorriaren arabera bere propietate fisikoak aldakorrak dira. Petrolio gordinaren kolorea gorri, marroi edo horia izan daiteke.

Ekialde Ertaina petrolio gordinaren gordeleku handienetarikoa da, erreserben % 63 bertan dagoelarik. Gizateria ohituta dago urtez urte gero eta petrolio gehiago kontsumitzera, baina petrolio-erreserbak mugatuak direnez, noizbait petrolioaren erauzketa gutxitu beharko da. Gertaera horri petrolioaren ekoizpen gorena edo gailurra (*peak oil*) esaten zaio, eta Nazioarteko Energia Agentziak berriki onartu duenez (IEA, 2010a: 7), petrolio konbentzionalaren ekoizpen gorena 2006an gertatu zen —urte horretan, batez beste, 70 milioi upel erauzi ziren eguneko—. Beraz, petrolioaren gailurra gertatzear dago, jada gertatu ez bada (Bueno, 2007: 58-73). Izan ere, IEAk berak 2008an petrolio mota guztien gailurra gainean dugula onartu zuen, 1.1. irudian erakusten diren datuak argitaratu zituenean (IEA, 2008). Datu horietatik ondorioztatzen da petrolio konbentzionalaren egungo ekoizpenak 2030eko eskaeraren % 25 bakarrik estaliko lukeela, putzuen agortzeak aginduta. Beste iturri garrantzitsu batzuk izango dira gas naturalaren eratorri likidoak —gas naturalaren ustiapenarekin batera lortutakoak—, eta petrolio ez-konbentzionala. Baina iturri horiek 2030eko balizko eskaeraren % 55 baino ez dute estaliko; horregatik, IEAk beste hiru petrolio-iturri gehigarri aurreikusten ditu orduko eskaera asetzeko: agortutako putzuetatik teknologia aurreratuagoak erabiliz lortuko dena (EOR delakoa); orain garatu gabe dauden putzuen ekoizpena; eta oraindik aurkitu gabeko petrolioa —2030eko eskaeraren % 18—. Bistan denez, nahiko zaila izango da IEAk 2030erako aurreikusten duen petrolio-eskaera arazorik gabe asetzea.




**1.1. irudia. Petrolio eta gas naturalaren ekoizpena.**
**Erregistro historikoak eta aurreikuspena, ASPOren arabera.**

Petrolio gordinaren % 50-95 tartean hidrokarburoen nahastea da pisutan; destilazio zatikatuaren bidez hidrokarburoen frakzio desberdinak lortzen dira, 1.2. taulan adierazten denez:

| Frakzioa | Irakite-tenperatura (K) | Karbono atomoen kopurua |
|---|---|---|
| Gas naturala | <295 | C1-C4 |
| Petrolio eterra | 295-335 | C5-C6 |
| Gasolina | 315-475 | C5-C12 gehienbat C6-C8 |
| Kerosenoa | 425-535 | C12-C13 |
| Diesel gasolioa | 475-625 | C10-C15 |
| Olioak | >535 | >C14 |
| Lubrifikatzaileak | >675 | C20 eta gorakoak |
| Asfaltoa | Hondakina | Poliziklikoak |

**1.2. taula. Petrolio gordinaren frakzio garrantzitsuenak.**

Gas naturala ere pisu molekular baxuko hidrokarburoen nahaste bat da, horretan karbono dioxidoa, karbono monoxidoa, hidrogenoa, nitrogenoa eta, kantitate askoz baxuagoetan, hidrogeno sulfuroa eta amoniakoa egon daitezke. Petrolioa bezala, lurpean metatutako organismoen transformazio geldoaren emaitza da. Gasaren lagin arrunt batean % 80 metanoa ($CH_4$), % 7 etanoa ($C_2H_6$), % 6 propanoa ($C_3H_8$), % 4 butano eta isobutanoa ($C_4H_{10}$) eta % 3 ($C_2H_{12}$) pentanoa izan daitezke.

Erregai fosilen artean, gehien handitzen ari den kontsumoa, segurki, gas naturalarena izango da, erreserbak onak direlako eta haren garraiorako teknologia asko garatu delako. Erregaitzat erabiltzen da gehienbat, nahiz eta petrolioa baino berotze-ahalmen txikiagoa eduki; gainera, karbono dioxido gutxiago aireratzen du erretzean.

Harrikatza oxigeno gabeko prozesuetan landare eta bizidunen deskonposizio anaerobikotik sortu zen, duela milioika urte. Karbohidratoen erredukzio-prozesua oso motela da, presio altuak eta oxigeno eza eskatzen dituena. Urtero erauzten den ikatz kantitatea gutxi gorabehera gasarena beste izan ohi da, haren erreserbak gas edo petrolioarenak baino ugariagoak izanik. Harrikatzak karbono eta gai lurrunkorren edukiaren arabera sailkatzen dira: grafitoa (ia % 100 karbono), antrazita (% 90-98 karbono), harrikatz bituminosoa (% 70-99) eta lignitoa (<% 70).

Erregai fosilen errekuntzatik lortutako energia kantitatea baldintzatzen duen ezaugarri nagusia berotze-ahalmena da. Berotze-ahalmena, berriz, oso lotuta dago erregaiaren osaera kimikoarekin, karbono eta hidrogeno kantitateekin, hain zuzen ere. Erregai solido, likido eta gaseoso arruntenen batez besteko gehienezko berotze-ahalmenak honako hauek dira:

| Erregaia | Ikatz bituminosoa eta antrazitak | Kokeak | Petrolioa | Gas naturala |
|---|---|---|---|---|
| MJ/kg | 28-35 | 29 | 48 | 32-89 |

**1.3. taula. Erregai batzuen berotze-ahalmenak.**

Erregai fosil guztiek ez dute portaera bera ingurumenarekiko. Ondoren, gaur egungo energia-baliabideen ustiatze, bihurtze eta kontsumoaren ondorio diren ingurumen-arazo nagusiak azalduko ditugu. Erregai fosilen erauzte-lanen ondorioz, paisaiaren aldaketak, higadura eta lurzoruaren edo azaleko zein lurpeko uraren poluzioa gerta daitezke. Petrolioaren itsas garraioak petrolio-isuri eta marea beltzen arriskua dakar berekin. Petrolio-ontzietako tangak garbitzean ere petrolio gordina isurtzen da itsasora.

Erregai fosilen edo horien erregai eratorrien kontsumoak, dela energia elektrikoa dela energia mekanikoa ekoizteko, airearen poluzio-arazoak sortzen ditu. Batetik euri azido edo smog fotokimikoaren eragile diren sufre eta nitrogeno oxidoak aireratzen direlako. Bestetik, berotegi-efektuko gasak, karbono dioxidoa batik bat, aireratzen direlako. Gainera, erregaiaren errekuntza osoa ez denean —errekuntza osorik burutzeko aski aire ez denean— karbono monoxidoa ere eratzen da, toxikoa dena. Hala ere, erregai fosil guztiek ez dute neurri berean poluitzen eta harrikatza da poluitzaile gehien aireratzen duena. Kontzentrazioa harrikatz motaren arabera aldatzen bada ere, sufrea harrikatzaren osagaia da, eta aireko oxigenoarekin erreakzionatzean —errekuntzan— sufre eta nitrogeno oxidoak eratzen dira, atmosferako urarekin erreakzionatzean azidoak ematen dituztenak. Horregatik, erregai fosilen artean poluitzaile gutxien aireratzen duena delako, gas naturala erregai fosil garbiena dela

esaten da; harrikatza, ordea, poluitzaileena da. Ondoko 1.4. taulan erregaien bidez askaturiko $CO_2$-aren mol kantitatea adierazita dago (Spiro eta Stigliani, 2004), mila kilojoule energia lortzen dugunean:

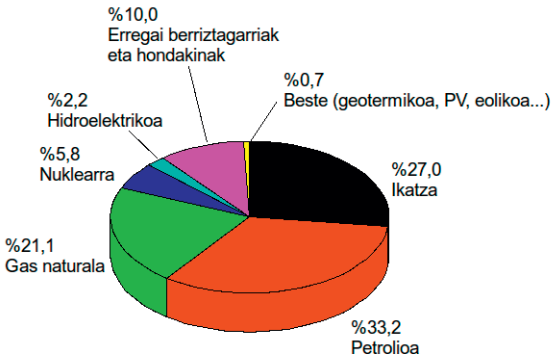
| Erregaia | Hidrogenoa $H_2$ | Gas $CH_4$ | Petrolioa $(–CH_2–)$ | Ikatza $(–CH–)$ | Zelulosa $(–CHOH–)$ |
|---|---|---|---|---|---|
| Mol $CO_2$ / 1.000 kJ | 0 | 1,2 | 1,6 | 2,0 | 2,2* |

**1.4. taula. Isuritariko $CO_2$-aren mol kopurua 1000 kJ energia eskuratzean (*zelulosaren bidez askaturiko $CO_2$-a landareak berak bere hazkundean kontsumiturikoa da).**

## *1.3. ENERGIA BERRIZTAGARRIAK*

Gaur egungo gizarte aurreratuetan, teknologiaren aurrerakadarekin batera energia-beharrizana gero eta handiagoa da. Nazioarteko Energia Agentziaren arabera (IEA, 2010: 6), 1973tik 2008ra arte munduko energia-kontsumoa bikoiztu egin da, eta urtero % 2 hazi da, batez beste. Aldi berean, administrazio eta erakunde guzti-guztiek funtsezkotzat hartzen dute energia-kontsumoaren hazkundeak etorkizunean jarraitzea, jarduera ekonomikoa sustatzeko. Era horretan, energia-iturri berrien —eta bereziki energia berriztagarrien— garapena ezinbestekoa omen da, erregai fosilak ordezkatzeko alde batetik, eta garapen maila kaxkarra leku askotan hobetzeko, bestetik. Dena dela, energia-kontsumoaren hazkunde jarraituaren ideia irmo arbuiatu behar dugu, zeren iraunkortasunaren arloan funtsezko axioma baita hazkunde jarraituaren ezintasuna (Bueno, 2007: 217-222), atal honen bukaeran islatu nahi izan denez.

Konbentzionalak deituriko energia-iturriak (ikatza, petrolioa, gas naturala) amaitu egingo dira, haien jatorria ez baita berriztagarria; mende honen amaierarako, petrolio guztia agortuko dela estimatu da, adibidez (Figueruelo eta Dávila, 2004). Ondorengo grafikoan ikus daitekeenez (1.2. irudia), energia-iturri horiek dira, hain zuzen ere, gizateriaren energia-kontsumo komertzialaren % 80 baino gehiago metatzen dutenak.




**1.2. irudia. Energia primarioaren hornikuntza munduan, 2008. urtean, IEAren arabera (IEA, 2010: 6).**

Munduko energia-kontsumo primario komertziala, 2008. urtean, 512,2 exajoule izan zen ($5{,}12 \cdot 10^{20}$ J). Gure planetan 6.600 milioi pertsona daudela jakinik, pertsonako energia-kontsumoa 77,6 gigajoule da urteko ($7{,}76 \cdot 10^{10}$ J/p·urte). EAEko Energiaren Euskal Erakundearen arabera (EVE, 2010: 13), erkidegoan biztanleko barne-kontsumo gordina 142 gigajoule da ($1{,}42 \cdot 10^{11}$ J/p·urte). Beraz, euskaldunok munduko batez besteko energia-kontsumotik gora gaude. Era berean, EAEko energia-kontsumo gordin osoa mundukoaren % 0,055 da.

Energia funtsezko eta beharrezko dugu gizakiok, betekizun anitz egunez egun gauzatzeko. Energia-baliabideak kontsumitzen ditugunean beste energia mota bat bihurtzen ditugu —energia mekaniko, elektriko, termiko—. Energia-eraldaketen funtsa ondo ulertzea funtsezkoa da, eta sarritan, kimika fisikoaz aritzean oso abstraktua den zerbaitez ari dela uste bada ere, erraz aurki ditzakegu horren aplikazioak eguneroko bizitzan. Kimika fisikoaren arlo garrantzitsuenetarikoa den termodinamikak, esaterako, ondokoa dio bere oinarrietan: termodinamikaren lehenengo printzipioaren arabera —energiaren kontserbazioaren printzipioa, alegia—, energia ez da sortzen ez deuseztatzen, eraldatu egiten da. Hala ere, energiaren transformazio bakoitzean, beti, eskuragarri geratzen den energia erabilgarria gutxitzen da —termodinamikaren bigarren legea, entropiarena, alegia—.

Carnot-en zikloaren arabera, energia termikoz lan egiten duen makina baten etekin maximoa —efizientzia maximo teorikoa— makinak erabiltzen dituen foku edo iturrien arteko tenperatura-diferentziarekiko proportzionala da:

$$\eta_{\max} = \eta_{carnot} = \frac{T_h - T_c}{T_h} \quad (1)$$

non $\eta_{max}$ etekin maximoa den; $\eta_{carnot}$ Carnot-en zikloaren etekina den; eta $T_c$, $T_h$ iturri hotz eta beroaren tenperaturak diren. Hau da, tenperaturen diferentziaz lan egiten duen makina baten etekin maximoa mugatua dago. Makina baten iturri hotza giro-tenperaturan baldin badago, eta konbustioan sortutako gasen tenperatura 125 ºC baldin bada, orduan Carnot-en arabera efizientziako muga hori % 33 inguruan kokatzen da. Era horretan, ondokoa onar dezakegu: zentral termikoetan erregai fosilen errekuntzatik lortzen den energia guztiaren heren bat soilik aprobetxa daiteke.

Beraz, egunero etxean erabiltzen dugun energia elektriko guztia beste energia mota baten eraldaketatik datorkigu. Zentral termikoetan sorturiko elektrizitatea, adibidez, erregai fosilen errekuntza-berotik sortzen da. Automobilek, berriz, gasolina edo diesela erabiltzen dute erregai bezala, gaur egun. Horiek erregai fosiletatik lortzen diren erregaiak dira, jatorri ez-berriztagarria dutenak, hau da, denbora-tarte ez oso luzean agortuko dira. Erregai fosilen agortzeak eragindako hornikuntza-arazoak berandu baino lehen agertuko zaizkigu; gainera, azpimarratu behar dugu ezen, arazoak sortzeko, ez dela beharrezkoa petrolioa eta erreserba fosil guztiak osorik desagertzea. Energiaren prezio-gorakada handiak gertatzeko, adibidez, bakarrik behar da petrolio-eskasia txiki bat; eta kontsumoaren hazkunde jarraituan oinarritzen den sistema sozioekonomiko batean —gurean— arazo horiek denbora kontua baino ez dira.

Berriztagarriak, ordea, erabiltzen diren ahala sortzen dira naturan; beraz, ez dira inoiz agortuko. Erregai berriztagarri horien artean biomasa dugu. Historian lehendabizi erabilitako erregaia *biomasa* zen, egurra batez ere erabiltzen zelarik. Erregai fosilek industria-munduan biomasa desplazatu zuten, eta hark egun dituen erabilera nagusiak etxekoak dira. Energia ez-berriztagarriak agortzear daudenez, jendea konturatu da berriro energia berriztagarrien beharraz.

Oso definizio zabalean, biomasa da berriki bizirik zeuden animalia edo landareen edozein sustantzia berriztagarri. Biomasaren energia izaki bizidunek metatutako energiatik datorkigu, eta sailkapen ezberdinak ditu, naturaren eta jatorriaren arabera. Naturaren arabera, honela sailkatzen dira:

- Biomasa primarioa: izaki fotosintetikoek sortutako lehengaiak dira.
- Biomasa sekundarioa: biomasa primarioa elikagaitzat hartzen duten izaki heterotrofoek sortutako hondakinak, adibidez animalia belarjaleak. Horrek biomasa primarioaren eraldaketa biokimikoa eragiten du, eta biomasa guztiz berri bat osatzen da.
- Biomasa tertziarioa: biomasa sekundarioaz elikatzen diren izaki heterotrofoek sortutako hondakinak izango dira, adibidez belarjaleak jaten dituzten haragijaleek sortutakoak.

Sailkapen erabiliena, ordea, beste hau da, jatorriaren araberakoa:

– Biomasa naturala: naturan espontaneoki gizadiaren tartekatze barik sortzen dena, adibidez basoen mozketa naturaletan sortutakoak; baina baliabide mota horiek hartu eta enpresetara garraiatu behar direnez, askotan ez da ekonomikoki errentagarria, eta, beraz, ez da biomasa mota oso erabilia.

– Zabor lehorreko biomasa: talde honetan nekazaritzan, basogintzan eta zur- eta jaki-industrietan erabiltzen ez diren azpiproduktu solidoak daude, hala nola almendren oskolak, fruta-arbolen mozketak, zerrautsa eta abar.

– Zabor hezeko biomasa: biodegradagarriak diren isurketak, adibidez industria eta hirietako hondakin-urak.

– Laborantza energetikoak: landare-hazkuntzak dira, helburu bakartzat energia bihurtu daitekeen biomasa produzitzea dutenak. *Cyrana cardunculus*-a eta ekiloreak horren adibideak dira, bioerregaietarako hazarazten direnean.

– Bioerregaiak: biomasa ezberdinetatik eratorriak dira. Bereziki garrantzitsuak dira bioerregai likidotuak, normalean garraioan erregai gisa erabiltzeko, gasolina eta gasolioaren ordezko zuzen bakarrak baitira. Lortu nahi den erregai motaren arabera, biomasa modu batean edo bestean aurretratatzen da. Hurrengo taulan laburbiltzen dira biomasatik eratorritako bioerregaiak (1.5. taula):

| Solidoak | Likidoak | Gasak |
|---|---|---|
| Lastoa | Alkoholak | Gasogeno gasak |
| Ezpalak | Biohidrokarburoak | Biogasa |
| Egur-ikatza | Olioak | Hidrogenoa |

**1.5. taula. Bioerregaien sailkapen bat.**

## *1.4. BIODIESELAK*

Biodiesela triazilglizeridoen (triglizeridoen) transesterifikaziotik lortzen den gasolioa da. Lortutako produktua petroliotik eratorritako dieselaren oso antzekoa da, diesel zikloa duten motorretan erabilgarria delarik.

1900. urteko Mundu Erakusketan, Rudolf Dieselek, bere motorra aurkeztu zuenean, kakahuetezko olioaz mugiarazi zuen, eta landare-olioek etorkizunean erregai gisa jokatuko zuten papera garrantzitsua izango zela aurresan zuen. Biodiesela, lehenengoz, Bigarren Mundu Gerra baino lehen erabili zen Hegoafrikan potentzia handiko ibilgailuetan, eta 1940. urtean patentatu zuten, AEBn. Lehergaiak ekoizteko erabiltzen zen glizerina lortzeko metodo berriak topatu nahian, biodieselaren erabilera aurkitu zen. Biodiesel izena, ordea, lehenengo aldiz 1992. urtean erabili zuen AEBko *National Biodiesel Board* enpresak.

Olioen jatorria ezberdina izan daiteke. Ekilorea, soja, kokoa eta antzeko hazi koipetsuak, palma gisako fruitu koipetsuak edota sukaldeetako frijitzeko olioak zein animalia-gantzak erabil badaitezke ere, koltzatik eratorritako olioa izaten da erabiliena, palma gisako espezieek etekin handiagoa ematen badute ere. Ekilorea, kakahuetea edo soja gisako plantazioen etekina 900 litro biodiesel ingurukoa da landatutako hektarea bakoitzeko eta urteko.

Gaur egun merkaturatzen den biodiesela ez da purua, motor asko ez baitaude prestatuta % 100 biodiesela den erregaia erabiltzeko, hark erregai-zirkuituan goma eta kautxuzko pieza ugari disolba ditzakeelako —automobil berrietako piezak, berriz, disolbagarriak ez diren plastiko eta eratorrietatik egiten dira—. Euskal Herrian, gasolindegietako biodiesela BIONOR enpresak ekoizten du, eta petroliotik eratorritako gasolioarekin batera nahastuta banatzen da, % 20 biodiesel eta % 80 gasolio proportzioan. Edozein diesel motorrek erabil dezakeen nahaste horrek *Bionor MX15* izena hartzen du.

Biodiesel puruak, gainera, toxikotasun baxua du uretan, eta biodegradagarria denez —30 egunetan guztiz desagertzen da—, istripuen aurrean erregai seguruago bihurtzen da. Gasolioa bera ere, biodieselarekin nahastean, hiru aldiz azkarrago degradatzen da. Sugar-puntua 110 ºC-tik gorakoa denez, ez da garraiatzeko edo biltegietan gordetzeko arriskutsua. Hala ere, bere izaera hidrofilo —ez du uraren oxidazioarekiko egonkortasun handirik— eta degradagarritasun azkarragatik, arazoak sor ditzake biltzeko orduan. Biltegi onenak dira aluminiozkoak, altzairuzkoak, polietileno fluorodunak (tefloia) edota polipropileno fluorodunak.

Bioerregaien kontsumoari dagokionez, Europar Batasunak bi proposamen ditu mahai gainean:

a. Biodieselari ezarri beharreko zergak gutxitzea.

b. Gasolioan nahastu beharreko biodiesel kopuru minimoa finkatzea. Biodieselak, merkatuan dagoen jatorri fosileko gasolioarekin lehiatzeko, 0,565 €/L-ko produkzio-prezioa baino txikiagoa izan behar luke.

Ikerketa batzuek diotenez, datuei so eginez, Erresuma Batuko olio erabili guztiek 100.000 tona diesel produzitzeko balioko lukete, hots, autoen kontsumoaren % 0,26. Era berean, herrialde horretan, 37,6 milioi tona petrolio —eta haren deribatuak— kontsumitzen dira urtero. Erresuma Batuko ingurumen- eta klima-baldintzetan, koltza izango litzateke plantaziorik errentagarriena, 3-3,5 tonako etekin batekin hektarea bakoitzeko. Hazi tona batek 415 kg biodiesel sortzeko balioko luke, hots, 1,45 tona biodiesel lortuko lirateke landutako hektarea bakoitzeko. Horrela gauzak, Erresuma Batuko auto eta autobus guztiak biodieselaz mugiarazteko, 25,9 milioi hektarea beharko lirateke. Kontuan hartuz Erresuma Batuak 5,7 milioi hektarea lur langarri dituela, errepideko ibilgailuak elikatzeko eskuragarri duen lursaila baino ia bost aldiz gehiago beharko luke (Monsalve *et al*., 2008).

Helburu berberarekin, Euskal Herrian, biodieselaren produkzioari lotuta, BIONOR enpresaren urteko ekoizpena 30.000 tonakoa da.

### *1.5. BEROTEGI-EFEKTUA*

Berotegi-efektua atmosferan dauden gas batzuen eraginez sortzen da. Eguzkiaren erradiazioa 5.800 K-eko tenperaturan dagoen gorputz beltzaren antzekoa da. Erradiazio horren uhin-maiztasuna oso altua da, eta atmosfera erraztasun handiz zeharkatzen du. Eguzki-izpien maximoa 560 nm-tan gertatzen da, argi berdearen espektroan. Beste alde batetik, Lur planeta oreka termikoan dago. Hau da, gure planetak espaziora bidaltzen du berriro eguzkitik jasotzen duen energia guztia. Baina erradiazio hori kanpora igortzen duenerako, erradiazioa eraldatu egin da, eta uhin-maiztasuna txikiagoa da. Erradiazio gehiena infragorrian igortzen du Lurrak, eguzkia baino askoz hotzago dagoen gorputz beltz baten ezaugarriekin —Lur planetaren batez besteko tenperatura 288 K da—. Erradiazioaren portaera atmosferan, baina, oso desberdina da argi-espektroan —eguzkiaren erradiazioa— eta espektro infragorrian —Lurrak espaziora igortzen duen erradiazioa—. Atmosferan dauden gas batzuek —nagusiki ur-lurruna, $CO_2$-a eta metanoa— erradiazio infragorriaren xurgatzaile oso indartsuak dira. Energiaren xurgapen horrek Lurraren tenperatura igoarazten du, berotegi-efektua sortuz. Berotegi-efektua, berez, atmosferak burutzen duen prozesu naturala da, eta guztiz funtsezko eta beharrezkoa planetan bizitza izateko: adituen arabera, Lurraren tenperatura den 288 K-etik, 33 K berotegi-efektuak sortutakoa da, eta horren bi heren, 22 K alegia, ur-lurrunak sortzen du —berotegi-efekturik gabe, Lurraren ozeano guztien ura izoztuta legoke—. Baina azken urteotako erregai fosilen errekuntza mugagabeak $CO_2$ kontzentrazioa atmosferan izugarri haztea eragin du, berotegi-efektu antropogenikoa sortuz (Figueruelo eta Dávila, 2004). Zalantzarik gabe, gure planeta berotzen ari da. Azken 150 urteetan planetaren tenperatura globala 1 ºC igo da. Munduko hainbat lekutan neurtutako airearen eta ozeanoen tenperaturek, poloetako izotz-geruzen desizozte-prozesuak eta itsasoaren mailaren gorakadak agerian jartzen dute hori. Adituek egiaztatu dute, bestalde, kontinente guztietan eta ozeano gehienetan hainbat sistema naturalek aldaketa handiak dituztela, eskualdeko klimaren aldaketaren ondorioz.

Berotegi-efektua sortzen duten gas nagusiak 1.6. taulan bildu ditugu (IPCC, 2007a: 212; 2007b: 28).

| Berotegi-efektuko gasa | Eragiteko ahalmena (100 urtean) | Kontribuzio erlatiboa | Emisio-iturri nagusiak |
|---|---|---|---|
| Karbono dioxidoa ($CO_2$) | 1 | % 76,7 | Erregai fosilen kontsumoa<br>Deforestazioa |
| Metanoa ($CH_4$) | 25 | % 14,3 | Nekazaritza eta abeltzaintza<br>Erregai fosilen kontsumoa<br>Zabortegiak<br>Gas naturalaren ihesak |
| Oxido nitrosoa ($N_2O$) | 298 | % 7,9 | Nekazaritza eta abeltzaintza<br>Industria kimikoa |
| Hidrofluorokarbonoak<br>Guztiz fluoratutako konposatuak<br>Eterrak | 14.800 arte<br>22.800 arte<br>14.900 arte | % 1,1 | Erabilera industria kimikoan, isolatzaile bezala, hozkailuetan |

**1.6. taula. Berotegi-efektuko gas nagusiak.**

Berotegi-efektuko gasen artean $CO_2$-a da nagusi, berotegi-efektu antropogenikoaren % 76,7 sortuz. Klima Aldaketari buruzko Gobernu Arteko Taldearen arabera (IPCC, 2007b: 27), $CO_2$ isurketen batez besteko urteko hazkundea, mundu mailan eta 1970 eta 2004 artean, % 1,74 izan zen. Isurketa horiek erregai fosilen erreketari dagozkio, batez ere.

Kiotoko protokoloa 1997ko abenduan sinatu zuten hainbat estatuk, berotegi-efektua sortzen duten gasen emisioak murrizteko. Protokolo horren ezarpena biodieselaren erabilera sustatzen ari da. Europar Batasunean, adibidez, garraio-sektorean kontsumitzen diren erregai fosilak EBko petrolio-kontsumo osoaren % 45 dira. Izan ere, garraiobideetan kontsumitzen den energiaren % 98 erregai fosiletatik dator, eta horrela CO emisio guztien % 87, $NO_x$-aren % 66, $CO_2$-aren % 23,1 eta $SO_2$-aren % 5 sortzen du garraioak Europan[1].

Biodieselaren erabilerarekin, berriz, gas horien guztien askapenak murriztu egingo lirateke, besteak beste:

– Biodieselaren S edukia ia nulua da —euri azidoaren erantzule nagusietarikoa da $SO_2$—.

– Erreketan $CO_2$-aren igorpena % 90 bitartean murriztu daiteke. Biodieselaren konbustioan igortzen den $CO_2$-a landareek hazteko absorbatzen dutena karbono dioxidoaren parekoa da, eta zentzu horretan neutroa. Dena dela, bioerregaien bizitza-zikloa balioestean (5. atalean) ikusiko dugunez, kontuan hartu behar ditugu bioerregaien produkzioan erabilitako produktu fosil guzti-guztiak —hala nola transesterifikazioan erabilitako metanola, edota produktuak garraiatzeko kontsumitzen diren erregai fosilak—. Horrela

1. < http://ec.europa.eu/energy/publications/doc/statistics/ext_co2_emissions_by_sector.xls>.

gauzak, biodiesela erregai berriztagarritzat hartzen da, nahiz eta biodiesel moten artean alde handiak dauden, haien kontsumoak dakarren $CO_2$-aren murrizketari dagokionez —kontu korapilatsu hauek guztiak argitzeko asmoz, bizitza-zikloaren balioespenaren ur sakonetan patxadaz murgilduko gara liburu honen 6. atalean—.

– Biodieselak ez dauka bentzenorik ez minbizia eragiten duen beste substantzia aromatikorik.

Munduko energia-kontsumoari begira, kontuan hartzekoa da iturri fosiletatik sortzen den kutsadura. Esaterako, berotegi-efektuaren eragile nagusia den $CO_2$ gasaren emisioak izugarriak dira. Erregai fosilen kontsumoak 2008. urtean sortu zituen $CO_2$-aren isurketak 1.7. taulan biltzen dira. Ikusten denez, urte horretan gizateriak 32,12 Pg $CO_2$ (32,12 mila milioi tona $CO_2$) bota zuen atmosferara, fosilak erretzeagatik —edo 8,76 Pg C (8,76 mila milioi tona karbono)—.

| Erregai fosila | 2008ko kontsumoa (EJ) | Igorpen-faktorea (kg C/GJ) | 2008ko igorpenak (Pg $CO_2$) |
|---|---|---|---|
| Ikatza | 138,3 | 26,8 | 13,59 |
| Petrolioa | 170,1 | 20,0 | 12,47 |
| Gas naturala | 108,1 | 15,3 | 6,06 |
| **Guztira** | **416,4** | **—** | **32,12** |

**1.7. taula. Erregai fosilen kontsumoak sortutako $CO_2$-aren isurketak. Iturriak: IEA (2010: 6), IPCC (2006: 1.21).**

Hala ere, karbonoaren zikloa biosferan askoz korapilatsuagoa da. Atmosferan isuritako $CO_2$ guztia ez da airean metatzen, beste fenomeno asko hartu behar baitira kontuan: $CO_2$-aren xurgapena ozeanoetan, landarediak buruturiko fotosintesia eta abar. IPCCren arabera (2007a: 516), biosferaren ahalmena karbonoa xurgatzeko, urtean, 3,1 Pg C da, edo 11,37 Pg $CO_2$. Suposatzen badugu xurgatutako $CO_2$ guztia erregai fosilen konbustiotik sortutakoa dela, orduan horrek 20,75 Pg $CO_2$ uzten du urtero atmosferan, han metatuz eta $CO_2$-aren kontzentrazioa airean handituz.

Zein ondorio dakar, orduan, erregai fosilen kontsumoak atmosferako $CO_2$-aren kontzentrazioan? Jakina denez, egungo karbono dioxidoaren kontzentrazioa atmosferan ia 400 ppm da. Airearen presioa Lurraren itsas mailan (1 kg/cm$^2$) eta Lurraren azalera ($S = 4 \cdot \pi \cdot R^2$ non R = 6.400 km, beraz, $S = 5{,}14 \cdot 10^{18}$ cm$^2$) kontuan hartuta, atmosferaren masa $5{,}14 \cdot 10^{18}$ kg aire da, gutxi gorabehera. Airearen masaren $10^6$ partetik 400 parte $CO_2$ badira (400 ppm), ondoriozta dezakegu atmosferan $2{,}059 \cdot 10^{15}$ kg $CO_2$ daudela, edo 2.059 Pg $CO_2$.

Beraz, kontuan hartuta ozeanoek eta planetako landarediak xurgatzen duten $CO_2$-a, erregai fosilen kontsumoak % 1 handitzen du atmosferako $CO_2$-aren

kontzentrazioa, hau da, 4 ppm-tan, urteko. IPCCren arabera (2007a: 515), atmosferan gorago arinki kalkulatutakoa baino zertxobait karbono gehiago dago (762 Gt C, edo $2{,}797 \cdot 10^{15}$ kg $CO_2$), eta horregatik, beste fenomeno konplexuago batzuekin batera —esan dugunez, biosferaren karbono-zikloak fenomeno asko tartean sartzen ditu—, azken urteotan atmosferako $CO_2$-aren kontzentrazioa ia 2 ppm/urte hazi da; eta horren errudun nagusia erregai fosilen kontsumoa da.

Horrela gauzak, energia berde eta berriztagarrien aldeko apustua egitea gero eta beharrezkoagoa da. Gainera, eguzkia iturri duten energia berriztagarri askok ez dute konbustiorik erabiltzen eguzkiaren erradiazioa —edo eguzkiaren eraginez sortutako haizearen indarra— elektrizitate bihurtzeko. Iturrien tenperatura-diferentziaz lan egiten ez duten teknologia energetikoek —hala nola zelula fotovoltaikoek, aerosorgailuek edo presa hidroelektrikoek— ez dute Carnot-en muga bete behar, eta beraz, haien efizientzia handiagoa izan daiteke, barne-errekuntzako motorretan baino. Eguzkiak duen ahalmen energetikoaz jabetuta, eta energia berriztagarri guztiek, zeharka edo zuzenean, jatorria eguzkian dutela jakinda, ezinbestekoa da berau ezagutu eta aztertzea.

Eguzki-konstantea, hots, eguzki-erradiazioaren energia-fluxua kanpoko atmosferan, 1.366 W/m$^2$ da. Eguzki-erradiazio hori lurraren azalera osoan zehar banatzen da. Kontuan hartuta Lurraren errotazio-higidura —egunaren ordu askotan ez dago eguzkirik—, atmosferaren interferentziarik gabe, batez besteko energia-fluxua planetaren azaleran 342 W/m$^2$ litzateke —eguzki-konstantearen laurdena—. Baina energia-fluxu horren % 51 soilik heltzen da lurrazalera, hots, 173 W/m$^2$, % 19 hodei eta gas atmosferikoek absorbatzen baitute eta % 30 espaziora islatzen baita. Islatutako parte horri albedo deritzo. Albedoaren % 6 atmosferako gasek eragiten dute, % 20 hodeiek eta % 4 lurrazalak (Smil, 2008: 24-35).

Beraz, Lurrak urtero $2{,}8 \cdot 10^{24}$ J-ko eguzki-energia jasotzen du (173 W/m$^2$-ren baliokidea); baina beste alde batetik, 1.2. irudian ikus daitekeenez, 2008an gizateriaren energia primarioaren kontsumoa 512,2 exajoule izan zen, edo $5{,}122 \cdot 10^{20}$ J. Hots, eguzkiak urtean ematen digun energia urte osoko energia-kontsumo primario mundiala baino bost mila aldiz handiagoa da.

Konponduta egongo al dira gure arazo energetiko guztiak, orduan, erregai fosiletik askatzen bagara, energia berriztagarrietara pasatuz? Gauzak, zoritxarrez, ez dira hain samurrak. Hasteko, aurreko erkaketa —eguzkiaren energia-fluxuaren eta gizateriaren kontsumoaren artekoa— ez da batere zilegi, bi arrazoirengatik. Alde batetik, eguzkiak ematen digun energia-fluxu itzela ez dago osorik eskuragarri. Izan ere, horren zatirik handiena jada erabiltzen ari da Lurra, planetaren klima hauskorra bizitzarako baldintza egokietan mantentzeko. Bestetik, azpimarratu behar dugu ez dela batere zintzoa izaera oso desberdineko energia motak —eguzki-erradiazioa eta energia primarioa— zuzen-zuzenean erkatzea. Eguzki-erradiazioa energia primario erabilgarri bihurtu nahi badugu —erregai likidoak, elektrizitatea eta abar—, bidean

energia erabilgarri mordo bat galduko dugu, termodinamikaren bigarren legearen eraginez. Zenbat urte behar izan zuen naturak, fotosintesiaren bidez eta prozesu geologiko eta fisiko-kimikoen bidez eguzkiaren erradiazioa erregai fosil bihurtzeko? Zein izan zen prozesu horien efizientzia globala? Aditu batzuen arabera (Smil, 2008: 202-203), urte bakar batean gizateriak kontsumitzen duen energia fosilak biosferaren 400 urteko produktibitate osoaren baliokidea metatzen du, aurreko aro geologikoetan milaka urtean zehar lur azpian bildutakoa.

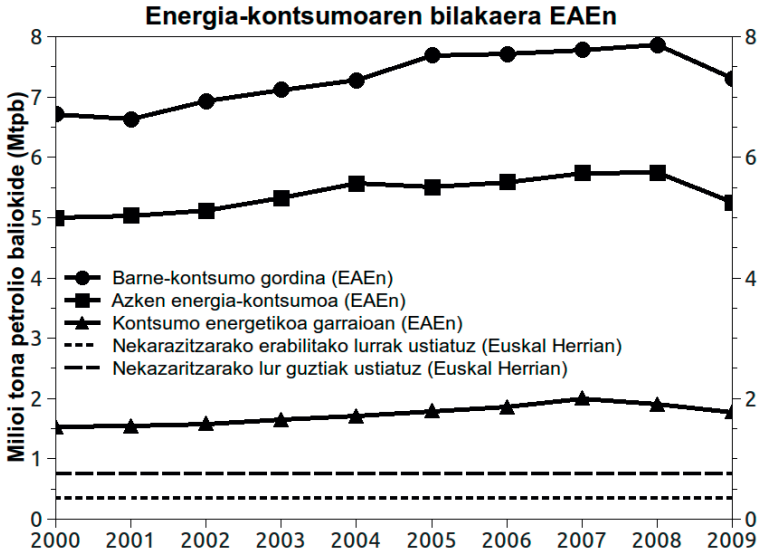
Benetan eskuragarri dugun energia-fluxu berriztagarria batzuek pentsatzen dutena baino askoz mugatuagoa da; horren adibide ezin hobea da biomasaren potentzialtasuna Euskal Herrian, hain zuzen ere, bioerregaiak fabrikatzeko energia-iturri berriztagarria. Horren estimazioa hurrengo azpiatalean egingo dugu.

### *1.6. BIOMASAREN POTENTZIALTASUNA EUSKAL HERRIAN*

Biodiesela erregai fosilen ordez erabiltzea da gure ustezko proposamena; beraz, lehenengo eta behin jakin behar dugu zein den Euskal Herrian nekazaritzarako lur-eremu eskuragarria. Datuok, Udalbiltzak bildu zituen 2002an, eta horien arabera, Euskal Herrian nekazaritzako 1.011.134,6 hektarea erabilgarri daude. Horietatik, 473.211 ha (lurren % 46,8) landatuta daude. Euskal herriak duen azalera 2.066.400 ha-koa da.

Beste alde batetik, laborantza energetikoek, hektareako, 900 L biodiesel ekoizteko beste lehengai ematen dute, urteko. Kontuan hartzen badugu biodieselaren dentsitatea 0,88 kg/L dela, eta haren bero-ahalmena 40 MJ/kg dela, orduan laborantza energetikoen produktibitatea 31,7 GJ/ha·urte izan daiteke, gutxi gorabehera. Hau da, laborantza energetikoekin landutako lur-eremu batek tona petrolio baliokide baten % 75 eman ahal du hektareako, urte batean (0,755 tpb/ha·urte).

Datu hauek buruan, kalkulua oso erraza da: egun nekazaritzarako erabiltzen diren lur-eremu guztiak erabiliko bagenitu bioerregaiak ekoizteko, orduan 356,94 ktpb lortuko lirateke urtean; horrez gain nekazaritzarako oraindik erabiltzen ez diren baina horretarako potentzialtasuna dutenak ere erabiliko bagenitu, orduan bioerregaien ekoizpena 762,68 ktpb-koa litzateke, edo $9{,}10 \cdot 10^8$ L biodiesel. Datu horiek 1.3. irudian erkatzen dira, azken urteotan energia-kontsumoak EAEn izan duen bilakaerarekin.




**1.3. irudia. Euskal Autonomia Erkidegoko energia-kontsumoaren bilakaera eta bioerregaietarako potentzialtasuna.**

Azpimarra dezagun 1.3. irudian EAEko energia-kontsumoak bakarrik islatzen direla. Kontuan hartuta EAEko biztanleriak 2,1 milioi pertsona gainditzen dituela, eta Euskal Herrian 3 milioi biztanle inguru gaudela, Euskal Herri osorako EAEko energia-kontsumoen intentsitateak suposatzen badira, Euskal Herri osorako energia-kontsumoak estrapolatzeko % 43 besterik ez diegu gehitu behar EAEko datuei. Gauzak horrela, 2009ko datuak erreferentziatzat hartuta, Euskal Herrian 10.447 ktpb behar izan ziren barne-kontsumo gordina asetzeko; azken energia-kontsumoa, berriz, 7.513 ktpb izan zen; eta garraio-sektorean 2.547 ktpb kontsumitu ziren, nagusiki erregai likidoen bitartez.

Baina Euskal Herrian ez dago hainbeste lur energia-eskari hori asetzeko. Nekazaritzan ustia litezkeen lur-eremu guzti-guztiak erabiliko bagenitu laborantza energetikoak ekoizteko, bakarrik 763 ktpb lortuko lirateke urteko —alde batera utzita, noski, horren ustiapen masiboaren iraunkortasunaren azterketa korapilatsua, eta beste elikagaien ekoizpenean izango lituzkeen ondorio larriak—. Izan ere, Euskal Herriko barne-kontsumo gordina bioerregaiekin estali nahi izango bagenu, ia 14 aldiz handiagoa den lurzorua beharko genuke bioerregaiak ekoizteko (10.447 ktpb / 763 ktpb). Izan ere, kontuan hartuta laborantza energetikoen produktibitatea 0,755 tpb/ha·urte dela, ia 138.371 $km^2$-ko lurzorua litzateke beharrezkoa —Euskal Herriko azalera 20.664 $km^2$ da—.

Biodieselaren erabileraren helburu errealago bat al liteke garraioan gastatzen den petrolioa eta horren eratorriak ordezkatzea? Garraio-sektorearen energia-beharra asetzeko, berriz, 3,3 aldiz handiagoa den lurzorua beharko genuke (2.547 ktpb /

763 ktpb), edo 33.735 km$^2$-ko lurzorua. Argi gera dadila, beraz, egungo energia-kontsumoa sostengaezina dela biomasaren bidez.

Badirudi egungo energia-kontsumoaren ereduaren barruan energia berriztagarriak ez direla bideragarriak. Errua, baina, ez da energia berriztagarriena —haien potentzialtasun mugatua, edo teknologien heldutasunik eza—. Errua, ezbairik gabe, gurpil zoro batean sartuta garamatzan eredu sozioekonomikoarena da, Giampietro eta Mayumi-k (2009: 256-257) maisuki azpimarratu dutenez:

> Hirugarren milurtekoko energia-trantsiziorako, hazkunde ekonomikoko patroi zaharkitua bizirik mantenduko duen energia-iturri alternatiborik ez dugu behar; behar duguna da beste garapen-patroi alternatibo bat, energia-iturri alternatiboak erabiltzea ahalbidetuko duena.

Zein izan daiteke behar dugun garapen-patroi alternatibo hori? Iraunkortasuna lortzeko gakoa, segurki, galdera horren erantzunean datza. Eta horretarako, ezinbestekoa da egungo zibilizazioan guztiz onartuta dauden kontsumo-ohiturak, adibidez erregai fosilen kontsumo masiboa, ezbaian jartzea. Klima-aldaketaren kontrako eta iraunkortasunaren aldeko borroka, hein batean, gure kontrako borroka baita, George Monbiot-ek (2007: 215) esan bezala:

> Klima-aldaketaren aurkako kanpaina bitxia da. Aurretik gertatu diren kanpaina gehienen kontra, kanpaina honek ez du oparotasuna lortu nahi, soiltasuna baizik. Kanpaina honek ez du askatasun gehiago bilatzen, gutxiago baizik. Eta arraroena hauxe da: kanpaina hau ez da bakarrik beste batzuen kontrako kanpaina bat, baizik eta baita geure kontrakoa ere.

## *1.7. BIBLIOGRAFIA*

British Petroleum (2010): *BP Statistical Review of World Energy June 2010.*

Bueno, G. (2007): *Energia urriko mundu baterako gida*, Manu Robles-Arangiz Institutua fundazioa, Bilbo.

Dermibas, A. (2008): *Biodiesel. A realistic Fuel Alternative for Diesel Engines,* Springer-Verlag, Londres.

EVE (2000): *Energiaren hiztegi entziklopedikoa*, EVE, Bilbo.

————, (2009): *ENERGIA 2009. Euskadi Energia Datuak.*

Figueruelo, J. eta Dávila, M. (2004): *Química Fisica del Ambiente y de los procesos Medioambientales*, Reverté.

Giampietro, M. eta Mayumi, K. (2009): *The Biofuel Delusion. The Fallacy of Large Scale Agro-Biofuels Production*, Earthscan.

IEA (2008): *World Energy Outlook 2008.*

————, (2010a): *World Energy Outlook 2010. Resumen Ejecutivo.*

————, (2010b): *Key World Energy STATISTICS.*

IPCC (2006): *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme*, IGES, Japonia.

——————, (2007a): *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge.

——————, (2007b): *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge.

Monbiot, G. (2007): *Heat: How to Stop the Planet From Burning*, South End Press.

Montalve et al. (2008). *Agrocombustibles y derecho a la alimentación en America Latina. Realidades y amenazas*, Transnational Institute, Amsterdam.

Smil, V. (2008): *Energy in Nature and Society: General Energetics of Complex Systems*, The MIT Press, Cambrigde.

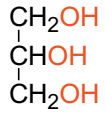
Spiro, T. eta Stigliani, W. (2004): *Chemistry of the Environment*, Pearson, 2. ed.

Udalbiltza (2002): *Euskal Herria. Datuen talaiatik*.

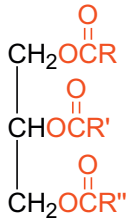
# 2. Landare-olioen ikuspuntu kimikoa

## *2.1. OLIOAK ETA GANTZAK: FUNTZIOAK*

Olioak eta gantzak kate luzeko azido karboxilikoak dituzten glizerolaren triesterrak dira. Horiei triglizerido izena ematen zaie. Glizerola karboxilatoak deritzen hiru azido koipetsuren erradikalak lotzeko gai da. Gantzetako eta olioetako azidoak, gantz-azidoak, adarkatu gabeak izan ohi dira eta karbono atomoen kopuru bikoitia dute.

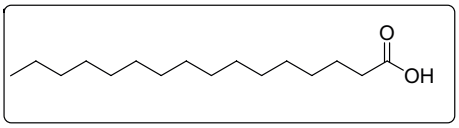


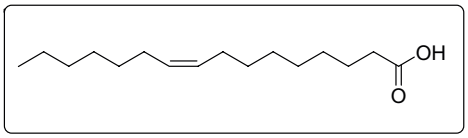

Glizerola
(1,2,3-propanotriola)

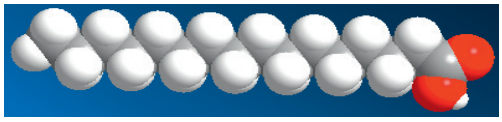


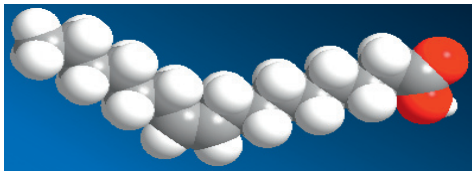

Triglizeridoa
(1,2,3-propanotriol triesterra)

Gantzak aseak edo asegabeak izan daitezke. Lotura bikoitzik ez duten gantz-azidoei gantz-azido ase deritze; lotura bikoitza dutenei, ordea, gantz-azido asegabe. Asegabeak badira, lotura bikoitzak *cis* izan ohi dira.





Gantz-azidoak aseak edo asegabeak izateak, ondorio garrantzitsuak ditu azidoen eta horien gantzen propietateetan. Gantz-azido aseek asegabeek baino urtze-puntu handiagoa dute beren paketatze-ahalmena handiagoa delako. Hala, azido asegabeek eratzen dituzten triglizeridoak (azilglizeridoak) egoera likidoan egoten dira giro-tenperaturan, olio modura. Gantz-azido aseek eratzen dituztenak, aldiz, egoera solidoan egoten dira (gurina, urdaia).

Bestalde, gantzak energia-gordailu biologikoak dira eta gantz-zelula edo zelula-adiposo izenez ezagutzen ditugun zeluletan metatzen dira, energia-premiak daudenean gorputzak erabili ahal izateko ($CO_2$ eta $H_2O$ bihurtuz). Olioek antzeko funtzioa betetzen dute landare-hazietan.

Gantzak metabolizatzean gorputzak lortzen duen energia gluzidoetatik lortzen dena baino askoz handiagoa da. Propietate hori hidrogeno atomoen proportzio handiari zor zaio. Naturak, eguzkitiko energia bere baitan metatzen duenean, hidrokarburo moduan egiten du. Hidrokarburoak karbono-hidrogeno loturak dituzten konposatuak dira, eta petrolioaren osagai nagusiak dira. Izaki bizidunetan ere, oro har, C-H loturaz eratutako konposatuetan metatzen da energia, besteak beste, triazilglizeridoetan. Azken horiek, hidrokarburoak izan beharrean, kate luzeko esterrak dira. Hidrokarburoen formula orokorra $C_nH_{2n+2}$ da eta ester metiliko bakoitzaren formula orokorra $C_{n+1}H_{2n+2}CO_2$. n zenbaki altua denean, oxidatu gabeko karbonoentzat $n \approx n+1$, beraz, hidrokarburoekin konparatuz antzeko errekuntza-entalpia dute.

Energia emateko ez ezik, gantzek isolatzaile termiko bezala ere balio dute, animalien larruaren azpian gantz-panikulu deritzan geruzan metatzen baitira eta hala berotik isolatzen dute.

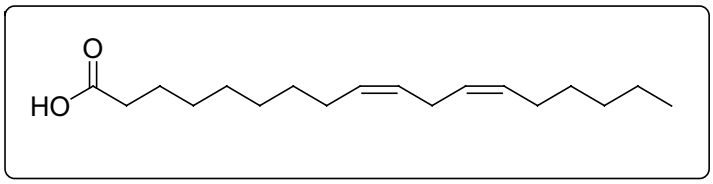
Gantzak zenbait organoren inguruan ere agertzen dira, adibidez, bihotzaren eta giltzurrunen inguruan gantzak ditugu kalte mekanikoetatik babesteko.

## *2.2. TRIGLIZERIDOEN ERRADIKALAK*

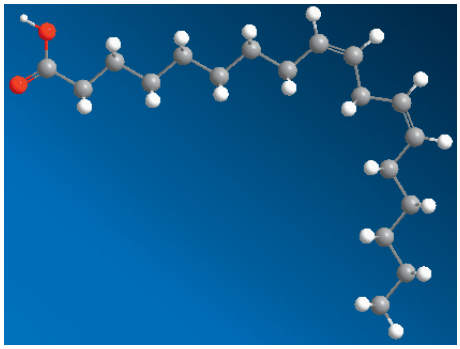
Triglizeridoetan agertzen diren hiru erradikalak beraien artean ezberdinak izan ohi dira. Horiek 12 karbonotik 24 karbonora arte izan daitezke eta naturan agertzen diren gutxienez 50 azido koipetsuz osatuta daude.

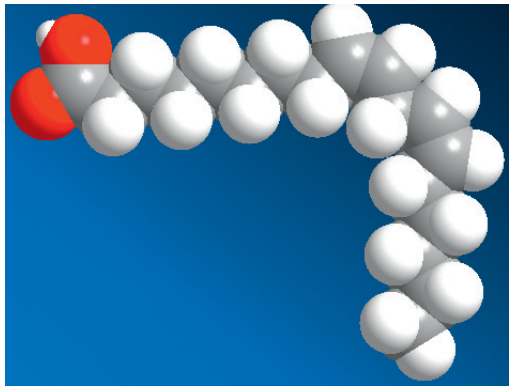
Honako hauek dira naturan proportzio handienean agertzen diren azido koipetsu asegabeak:

- Azido linoleikoa (azido *cis*, *cis*-9,12-oktadekadienoikoa):



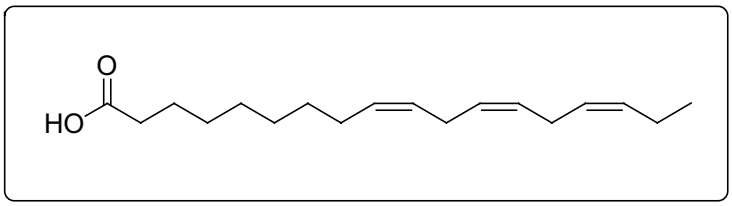

C18:2 (C: asegabetasun kopurua)



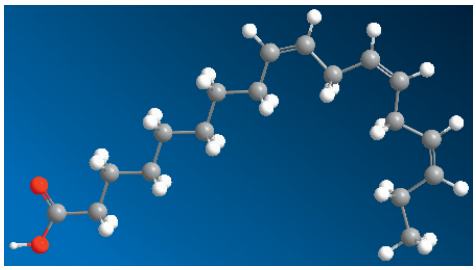


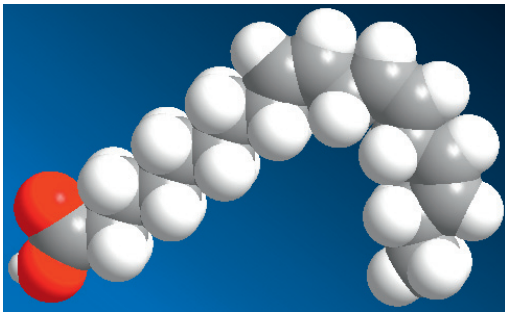
Azido linoleikoa eta beraren eratorriak omega-6 (ω-6) azido koipetsuak dira. Izen hori azken lotura bikoitzaren kokapenak ezartzen du. Izendapen horrek adierazten digu metilo taldea ($–CH_3$) daraman karbonotik, hots, ω karbonotik hasita agertzen den lehenengo lotura bikoitzaren kokapena. Omega-6 azido koipetsuak zenbait landare-oliotan agertzen dira, hala nola ekilorean, sojan eta arrautzetan. Azido koipetsu horiek odolean dagoen triglizerido kontzentrazioa jaisten laguntzen dute, eta, horrek, arteria-presioaren gutxitzea dakar.

- Azido linolenikoa (azido *cis, cis, cis*-9,12,15-oktadekatrienoikoa):



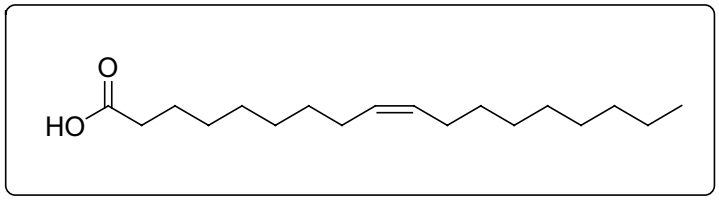

C18:3



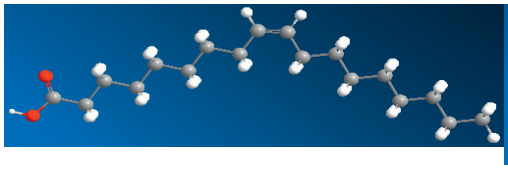


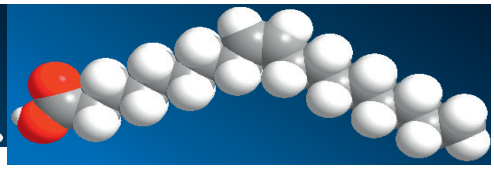
Omega-3 taldeko azido koipetsu esentziala da. Zenbait landare-oliotan agertzen da, hala nola salbia landarean, kiwi hazietan, lihoan, ahabian, koltzan eta sojan. Azido linolenikoak gaixotasun kardiobaskularrak pairatzeko arriskua gutxitzen du. Bestalde, omega-3aren gabezia eta depresioa lotzen dituzten ikerketak egin dira; izan ere, frogatu izan da garuneko sistema endocannabinoideak ez duela behar bezala funtzionatzen dietan omega-3 gutxi dagoenean.

- Azido oleikoa (azido *cis*-9-oktadezenoikoa):




C18:1



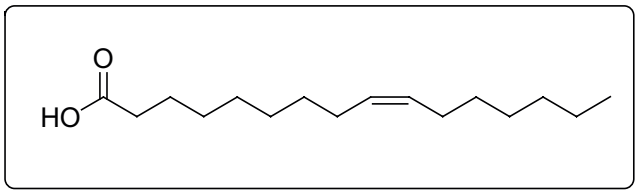


Azido oleikoa omega-9 taldeko azido koipetsua da. Oliba-olioaren osagai nagusia azido honen triglizerido esterrak dira % 55-80ko proportzioan. Azido oleikoaren proportzioak oliba-olioan % 2a baino txikiagoa izan behar du, kontzentrazio altuagoan jangaitza bailitzateke. Horretaz gain, ahuakatean, kakahuetean, sesamoan, opio-belarrean eta mahatsen hazietan (% 15-20ko proportzioan) agertzen da. Animalia-koipeetan ere agertzen da, hala, oilasko eta indioilarren koipeetan % 37-56 proportzioan eta txerri-gantzean % 44-47 proportzioan agertzen da azido oleikoa. Era berean, gizakien ehun adiposoetan agertzen den azido koipetsu ugariena da.

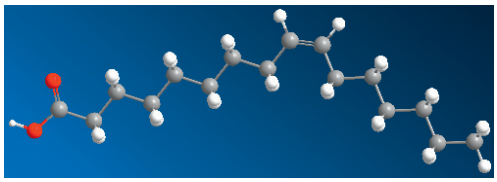
Azido oleikoak odol-hodietan funtzio onuragarria eragiten du eta, ondorioz, gaixotasun kardiobaskularrak izateko arriskua gutxitzen du.

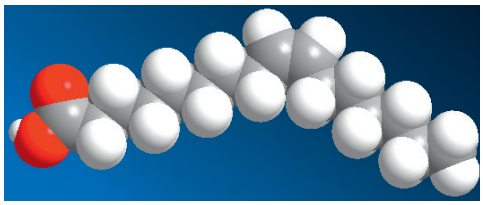
Hildako erleen eta zenbait inurriren gorputzek azido oleikoa isurtzen dute, eta, horrela bizirik dauden kideek hilda daudelako seinalea hartu eta erlauntzetik kanporatzen dituzte.

- Azido palmitoleikoa (azido *cis*-9-hexadezenoikoa):




C16:1



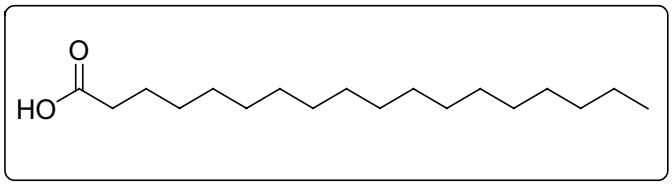


Azido palmitoleikoa omega-7 taldeko azido koipetsua da. Gizakien ehun adiposoetan agertzen diren azilglizeridoen osagaietako bat da. Ehun guztietan agertzen den arren, kontzentrazio altuenean gibelean dago. Azido palmitoleikoaren iturriak animalia-gantzak, itsas animalien olioak eta landare-olioak dira. Azken horien artean *makadamia* intxaurretan (% 17a) eta elorri horiaren olioan (% 40a) agertzen da proportzio handian.

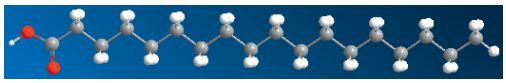
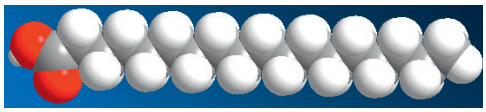
Aipatutako azido koipetsu asegabe horiek ezin dira giza gorputzean sintetizatu, beraz, elikagaien bidez hartu behar ditugu. Hori dela-eta, azido koipetsu esentzialak deitzen dira.

Honako hauek dira naturan proportzio handienean agertzen diren azido koipetsu aseak:

- Azido estearikoa (azido oktadekanoikoa):



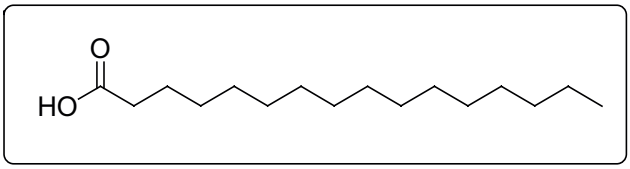

C18:0

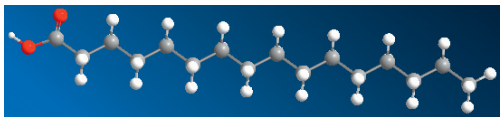
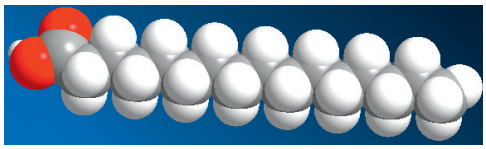
Azido estearikoa azido koipetsu asea da. Animalia- eta landare-olioetan eta gantzetan agertzen da, baina batez ere animalia-gantzetan. Salbuespena kakao-gurinean aurkitzen dugu, horretan azido estearikoaren proportzioa % 28-45ekoa da. Giro-tenperaturan argizari antzeko solidoa da.

Azido estearikoa lortzeko bideak honako hauek dira: animalia-gantza tenperatura eta presio altuetan urarekin tratatuz eta landare-olio asegabeen hidrogenazioaren bidez. Kandelak, xaboiak eta kosmetikoak egiteko oso erabilia da. Azido estearikoaren karboxilato gatzek, hala nola potasio eta sodio gatzek, propietate tentsoaktiboak dituzte.

- Azido palmitikoa (azido hexadekanoikoa):




C16:0

Azido palmitikoa animalia eta landareetan proportzio altuenetan agertzen den eta elikaduran kantitate altuenean hartzen dugun azido koipetsu asea da. Batez ere okelan, esne-koipeetan (gurinan, gaztan eta esne-gainean) eta landare-olioetan (koko-olioan eta palma-olioan).

Bigarren Mundu Gerran azido palmitikoaren eratorria, sodio palmitatoa, *napalm* erregaiaren lehengai moduan erabili zen.

Azido palmitikoa osasunerako kaltegarriena den gantz-azidoa da. Izan ere, odoleko kolesterol maila gehien igotzen duena da. Ondorioz, gaitz kardiobaskularrak garatzeko arriskua dakar.

Egindako ikerketen arabera frogatu da, dentsitate baxuko lipoproteinen (LDL, «kolesterol txarra») kontzentrazioa antzekoa dela azido palmitoleikoan edo palmitikoan aberatsak diren elikaduretan. Azido oleikoan aberatsak diren elikaduren kasuetan, ordea, LDLren kontzentrazioa baxuagoa dela ikusi da. Zenbait ikerketaren arabera, azido palmitoleikoak gantz-azido ase moduan jokatzen du LDL kolesterolari dagokionez. Dentsitate altuko lipoproteinen (HDL, «kolesterol ona») kasuan, aldiz, azido palmitoleikoan aberatsak diren elikaduretan horien kontzentrazioa baxuagoa da azido palmitikoan aberatsak diren elikadurekin konparatuta.

Horrekin lotuta, txokolatean agertzen den kakao-gurinaren osagai nagusia azido estearikoaren bi molekulaz eta azido oleikoaren molekula batez osatutako triglizeridoa da. Azido estearikoa asea izan arren, ez du dentsitate txikiko lipoproteinen (LDL) kontzentrazioa igotzen, eta ondorioz, ez du arteriosklerosia eragiten beste gantz-azidoekin gertatzen ez den bezala. Azido oleikoari dagokionez, aipatu dugun moduan, oliba-olioaren osagai nagusia da. Hori da hain zuzen ere Mediterraneoko sukaldaritzan gehien erabiltzen den olioa eta horrek eragiten du herrialde horietan bihotzeko gaitzen proportzioa txikiagoa izatea.

### *2.3. GANTZ-AZIDOEN PROPIETATEAK*

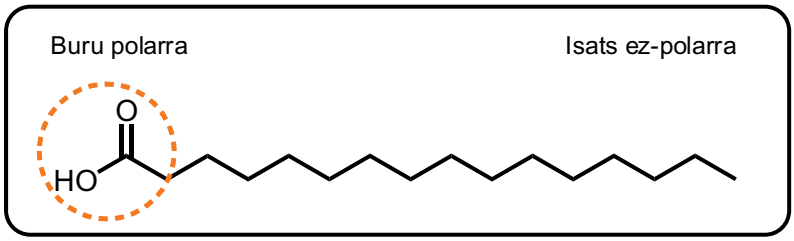
Honako hauek dira gantz-azidoen propietate nagusiak:

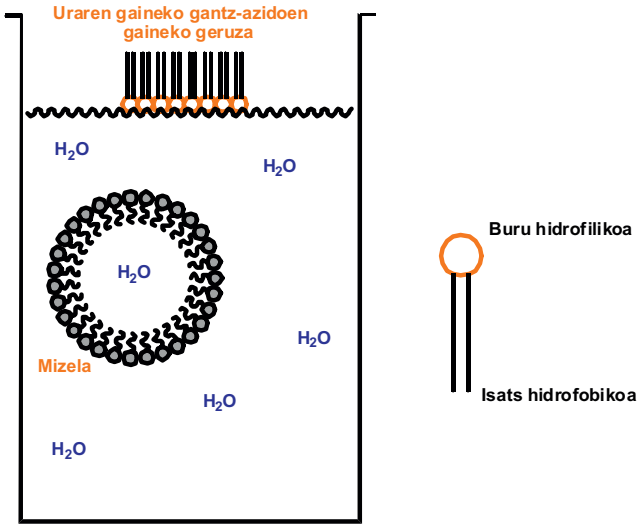
| Gantz-azidoa | Formula | Masa molarra (g/mol) | Urtze-puntua (ºC) | Irakite-puntua (ºC) |
|---|---|---|---|---|
| Az. linoleikoa | $C_{18}H_{32}O_2$ | 280,45 | -5 | 229,5 |
| Az. linolenikoa | $C_{18}H_{30}O_2$ | 278,44 | -11 | 231 |
| Az. oleikoa | $C_{18}H_{34}O_2$ | 282,47 | 16 | 286 |
| Az. palmitoleikoa | $C_{16}H_{30}O_2$ | 254,42 | 1 | 210 |
| Az. estearikoa | $C_{18}H_{36}O_2$ | 284,48 | 71 | 360 |
| Az. palmitikoa | $C_{16}H_{32}O_2$ | 256,43 | 63 | 350 |

**2.1. taula. Zenbait gantz-azidoren propietateak.**

Taulan ikus daitekeen moduan, gantz-azido asegabeak giro-tenperaturan likidoak dira; aseak, ordea, solidoak dira. Gantz-azido asegabeen hidrogenazio-erreakzioaren bidez gantz solidoak eratzen dira, hala nola margarina eta gozogintzan erabiltzen diren gurinak.

Disolbagarritasunari dagokionez, gantz-azidoak uretan disolbaezinak edo hidrofobikoak dira; izan ere, hidrokarburo kate luzea (C16, C18) ez-polarra da. Beste muturra, azido karboxiliko funtzio taldea, polarra izanik zati hidrofilikoa da. Beraz, gantz-azidoen molekulak heteropolarrak dira, eta, hori dela-eta, uretan geruza bat eratzen dute ur-gainazalean, edo mizela txikiak ur-barruan.




## *2.4. ZENBAIT LANDARE-OLIOREN OSAGAI NAGUSIAK*

Biodiesela lortzeko industria mailan gehien erabiltzen diren landare-olioak honako hauek dira: koltza-olioa, ekilore-olioa, soja-olioa eta palma-olioa.

### *2.4.1. Koltza-olioa* (Brassica napus)

Europa mailan biodiesela ekoizteko gehien erabiltzen den olioa da. Jatorrizko koltzak, osasunerako kaltegarria den azido eurikoaren (C22:1) kantitate handia (~% 50) du. Gaur egun landatzen den koltza transgenikoak, ordea, azido eurikoaren kantitate txikia du (~% 2). Horren osagai nagusiak azido oleikoa (C18:1) eta azido linoleikoa (C18:2) dira eta % 55-65 eta % 20-26 proportzioetan agertzen dira hurrenez hurren.

### *2.4.2. Ekilore-olioa* (Helianthus annuus)

Europa mailan biodiesela ekoizteko koltzaren atzetik gehien erabiltzen den olioa da. Gizakien dietan garrantzitsuenetarikoa den olioa izan arren, erregai moduan, erabilera mugatua du. Izan ere, azido linoleikoaren proportzio handia duenez (% 67-74) diesel motorretan ezin da erabili iodo maila altua duelako (127-142 g $I_2$/100 g). Horrek EN14214 Europako legeak ezartzen duen muga, ≤120 g $I_2$/100 g, gainditzen du. Olio horretan agertzen den hurrengo osagai nagusia azido oleikoa da (% 17-22).

### *2.4.3. Soja-olioa* (Glycine max)

Estatu Batuetan biodiesela ekoizteko gehien erabiltzen den olioa da. Olio horren osagai nagusiak azido linoleikoa (% 52-56) eta azido oleikoa (% 23-25) dira. Beraz, ekilore-olioaren kasuan gertatzen den moduan, Europako legediak ezartzen duen iodo-indizearen balioa gainditzen du (121-143g $I_2$/100g). Beraz, soja-olio purua ezin da bioerregai modura erabili. Horrekin lotuta aipatzekoa da iodo-indizeari dagokionez, adituak ez direla adostasunera heldu.

### *2.4.4. Palma-olioa* (Elaeis guineensis)

Asiako hegoaldean biodiesela ekoizteko gehien erabiltzen den landare-olioa da. Horren osagai nagusiak azido palmitikoa (% 40-48) eta azido oleikoa (% 37-46) dira. Kasu honetan azido koipetsu aseen portzentajea handia denez, iodo-indizeak (53-57 g $I_2$/100 g) ez du gainditzen Europako legediak ezarritako balioa.

### *2.4.5. Oliba-olioa* (Olea europaea)

Sukaldean erabilitako olio-hondakinetan gehien agertzen den landare-olioa da nahiz eta biodieselaren ekoizpenean olio gordin modura erabiltzen ez den. Oliba-olioaren osagai nagusia azido oleikoa da (% 71-84). Horretaz gain, portzentaje txikiagoan azido palmitikoa (% 10-13) eta azido linoleikoa (% 7-10) agertzen dira.

### *2.5. BIBLIOGRAFIA*

French M. A.; Sundram K. eta Clandinin M. T. (2002): *Asia Pacific Journal of Clinical nutrition,* **11**, 401–407.

Kinsella J. E.; Lokesh B. eta Stone R. A. (1990): *American Journal of Clinical Nutrition*, **52**, 1–28.

Lafourcade, M.; Larrieu, T.; Mato, S.; Duffaud, A.; Sepers, M.; Matias, I.; De Smedt-Peyrusse, V.; Labrousse, V. F.; Bretillon, L.; Matute, C.; Rodriguez-Puertas, R.; Laye, S. eta Manzoni, O. J. (2011): *Nature Neuroscience*, **14**, 345-350.

Mittelbach, M. eta Remschmidt, C. (2007): *Biodielesel. El Manual Completo*, Ed. Martin Mittelbach, Austria.

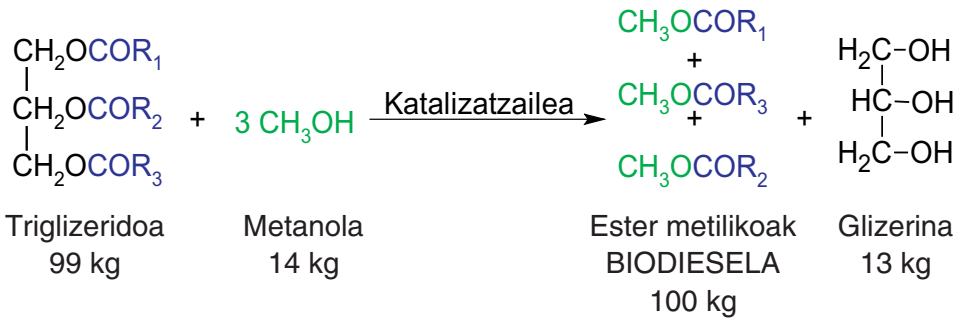
Vollhardt, K. P. C. eta Schore, N. E. (2008): *Kimika Organikoa. Egitura eta funtzioa*, Euskal Herriko Unibertsitateko Argitalpen Zerbitzua, Leioa.

## 3. Transesterifikazioaren ikerketa zinetikoa

Olioa biodiesel bihurtzeko transesterifikazio edo alkoholisi erreakzioa burutzen da. Olioetan dauden ester glizeridoen mol batek alkoholaren hiru molekin erreakzionatzen du eta glizerol mol bat eta hiru mol ester lortzen dira katalizatzaile baten presentzian. Alkoholari dagokionez, metanola edo etanola erabil daitezke. Metanola etanola baino merkeagoa denez eta etekin altuagoa lortzen denez, metanola da gehien erabiltzen dena. Erreakzio horri metanolisi deritzo.

Lortzen diren ester metiliko (edo etiliko) hauen ezaugarriak eta dieselarenak oso antzekoak direnez, biodiesel izena ematen zaie, eta hortik aurrera berotegi-efektuaren kontrako erregaia, energia berriztagarriak, agroerregaiek sorturiko elikagaien eskasia… zabaltzen zaizkigu.

Erreakzioa burutzeko hainbat prozedura deskribatu izan arren, gehien erabiltzen den prozedura oso sinplea da. Olioetan dauden triglizeridoak, metanolarekin edo etanolarekin eta sodio edo potasio hidroxidoarekin erreakzionatu ondoren ester metilikoak eta glizerina lortzen dira. Erreakzioa 3.1. irudian erakusten da. Erreakzioaren estekiometriak 3:1 erlazioa ezartzen duen arren, oreka metil esterren aldera desplazatzeko biodieselaren ekoizpenean alkohola soberan jartzen da, 6:1 erlazioan hain zuzen.




**3.1. irudia. Transesterifikazio-erreakzioa.**

## *3.1. TRANSESTERIFIKAZIOAN ERAGITEN DUTEN ALDAGAIAK*

Erabilitako olioak transesterifikatzeko orduan, ondoko aldagaiek dute eragina:

### *3.1.1. Erreaktiboen kalitatea*

Erabilitako olioen azidotasuna eta ur-edukia kontuan izan behar diren propietateak dira, zeren erabilitako olioen eta olio gordinen ezaugarriak desberdinak baitira. Sukaldaritzan tenperatura altuak erabiltzen direnez eta olioetan murgiltzen diren elikagaiek duten urarekin batera triglizeridoen hidrolisia azkartzen denez, azido askeen edukiak gora egingo du. Beraz, azido askeen kopurua neurtu behar da erabili behar den katalizatzailearen kantitatea determinatu ahal izateko.

Oro har, azido askeen edukia % 5 baino baxuagoa bada, katalizatzailearen kantitatea % 1 *p:p* izango da. Azido askeen kontzentrazio altua (≈ % 15) duten olioetan arazoak agertuko dira, zeren azido aske hauek katalizatzaile basikoarekin saponifikazioa (3.2. irudia) pairatuko baitute. Xaboi hauek ester metilikoen eta glizerina-faseen arteko bereizketa oztopatzen dutela jakina da.

Transesterifikazioak inguru basikoan gauzatuko direnez, erreaktiboak anhidroak izan behar dira; beraz, olioa lehortu behar da transesterifikatu baino lehen. Baita, purutasun altuko metanola behar da, askotan metanolak ur hondarrak dituelako.

### *3.1.2. Metanolisiaren abantailak*

Metanolisiak daukan abantaila da erreakzioan sortzen diren produktuak, hots, glizerina eta azido koipetsuen metil esterrak nahasgaitzak direla eta, ondorioz, bi fase eratzen direla, beraz, erraz bana daiteke beheko fasean agertzen den biodiesela goiko fasean agertzen den glizerinatik. Kate luzeko alkoholekin, ordea, erreakzioan sortzen diren bi produktuen arteko banaketa ez litzateke izango horren eraginkorra.

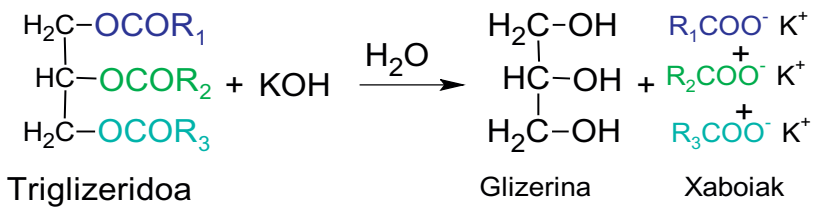
Era berean, metanolisi erreakzioan erabiltzen den metanolak olioan disolbagarritasun txikia du, eta, ondorioz, hasieran erreaktiboek sistema ez-homogeneoa eratzen dute. Sistema horren goiko fasean metanola geratzen da eta behekoan olioa. Hori dela-eta, transesterifikazio-erreakzioa gertatzeko bortizki irabiatzea beharrezkoa da. Eratzen diren metil esterrak, aldiz, metanoletan disolbagarriak dira. Erreakzioan zehar eratzen diren diglizeridoek eta monoglizeridoek nahaste homogeneoa eratzen dute hasierako substratuekin, glizerido partzial horiek emultsionatzaile modura jokatzen baitute. Erreakzioa aurrera doan heinean eta glizerina kantitatea handia denean, bi fasez osatutako sistema eratzen da berriro.

### *3.1.3. Alkoholaren eta olioaren arteko erlazio estekiometrikoa*

Erreakzioaren etekinean eta biodieselaren biskositatean alkoholaren eta olioaren arteko erlazio estekiometrikoak eragin nabarmena du. Gehien erabiltzen den alkohola metanola da. Beraz, biodiesela osatzen duten esterrak gehienbat metilikoak izango direnez, FAME (*Fatty Acid Methyl Ester*) moduan ezagutzen dira. Erreakzioari begira, estekiometriak 3:1 mol alkohol/olio erlazioa ezartzen du, nahiz praktikan 6:1 erlazioa erabili; horrela, oreka eskumarantz desplazatzen da ester metilikoen ekoizpena faboratuz. Proportzio altuagoa erabilita, geroko faseen banaketan zailtasunak sortzen dira, disolbagarritasunak aldatuko baitira.

### *3.1.4. Katalizatzaile mota eta haren kontzentrazioa*

Erabilitako olioak transesterifikatzeko katalizatzailerik onenak basikoak direla frogatuta dago, azidoekin erreakzioa geldoagoa baita. Horien artean sodio metoxidoa ($NaOCH_3$), sodio hidroxidoa (NaOH) eta potasio hidroxidoa (KOH) dira erabilienak. Dagoen arazo bakarra saponifikazioa da, base hauek saponifikazioak eragiten dituztelako. Saponifikazioaren erreakzioa 3.2. irudian erakusten da.




**3.2. irudia. Saponifikazio-erreakzioa.**

Hidrolisia ekiditea oso garrantzitsua da. Uraren presentzian KOH-ak xaboi likidoak ematen dituen bitartean, NaOH-ak xaboi solidoak sortzen ditu.

Horregatik, era honetako hidrolisi-erreakzioak ekiditeko, erreaktibo anhidroak erabiltzen dira, eta horrela, erreakzioaren hasieran metoxi taldeak soilik erasotuko du triglizeridoa.

Baldin olioaren azidotasuna % 5 baino baxuagoa bada, katalizatzailearen proportzioa % 1 *p:p* izan behar da.

### *3.1.5. Agitazioa, tenperatura eta erreakzio-denborak*

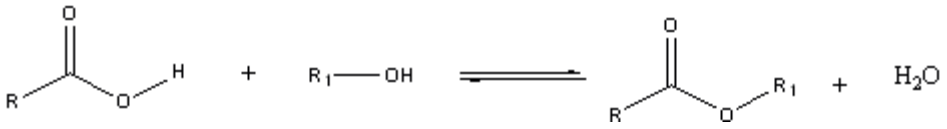
Transesterifikazio-erreakzioa fase heterogeneoan gertatzen da, metanola eta olioa nahastezinak baitira. Baina triglizeridoen kontzentrazioa desagertuz doan heinean, metil esterren ekoizpena areagotuz joango da, metanola eta olioa fase bakarrean bateratzen direlarik. Era berean, eratzen den glizerinak beste fase berezitu bat osatuko du. Beraz, erreakzio hau egoera pseudo-homogeneoan gertatzen den erreakzio orekatuen adibidetzat hartzen da. Agitazioak berebiziko garrantzia du (600 rpm), batez ere lehenengo unean, non fase nahastezinen kontaktua areagotzen duen, erreakzioaren zinetika azkartuz.

Erreakzioa lehenengo minutuan apur bat geldoa da (metoxidoa likidoan barreiatu behar baita eta difusioa berez geldoa baita), baina berehala bizkortzen da, eta 5 minutu pasatu ostean, ester metilikoen kopuruak % 84,7, % 61,6 eta % 49,3 izango dira 65, 45 eta 25 ºC-an, hurrenez hurren (Torossii Baudino, 2006). Beraz, honen bidez kalkulatu ahal ditugun abiadura konstanteak hasierako urrats azkar horri dagozkionak izango dira.

Erreakzioa 25 ºC-an gerta daitekeen arren, hobe da tenperatura altuagoetan gauzatzea, biskositate-arazoak ekiditeko eta azkartasuna handitzen delako. Halere, metanolaren irakite-tenperatura dela-eta, ezin da 65 ºC-ko tenperatura gainditu.

Transesterifikazioari dagokion oreka-erreakzioa oso ezaguna da kimika organikoaren esparruan. Oreka estekiometrikoan gai kimikoen kontzentrazioak kalkulatzeko, pentsa daiteke transesterifikazio- eta esterifikazio-erreakzioak antzekoak direla eta, hortaz, oreka-konstantearen balio hurbildua 7 izango da.

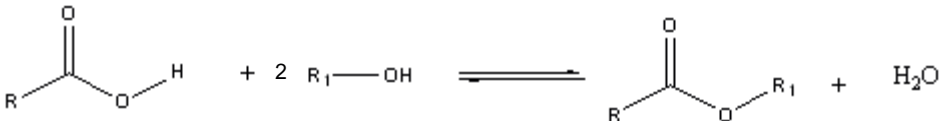
Erreaktiboa estekiometrikoki behar denaren bikoitza gehituz (3.3. irudia) lortzen den etekina % 17,6an hobetzen da, arrazoi horregatik metanola soberan erabiltzen da. Azaldutako hurbilketa honen emaitzak onak badira ere, kontuan hartu behar da erreakzioa gertatzen den neurrian produktuetako bat, glizerina, bereizten joango dela eta horrek etekin altuagoak lortzea ahalbidetuko duela.



| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| t = 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| t = t | 1-x | 1-x | x | x |

$$K = 7 = \frac{X^2}{1 - X^2} \quad \frac{X}{1 - X} = \overline{7} \quad x = 0{,}72 \quad \text{edo } \% \ 72$$

***(a)***



| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| t = 0 | 1 | 2 | 0 | 0 |
| t = t | 1-x | 2-x | x | x |

$$K = 7 = \frac{X^2}{1 - X \quad 2 - X} \quad 6X^2 - 21X + 14 = 0 \quad x = 0{,}896 \quad \text{edo } \% \ 89{,}6$$

***(b)***

**3.3. irudia. Erreakzioaren etekin teorikoa esterifikazio batentzat, azido:alkohol 1:1 (a) eta 1:2 (b) erlazioetarako.**

### *3.2. MEKANISMOA*

Transesterifikazio-erreakzioa gertatu aurreko metanolisian, metanolak eta baseak erreakzionatzen dute katalizatzaile moduan jokatzen duen metoxidoa ($^{-}OCH_3$) eratzeko.

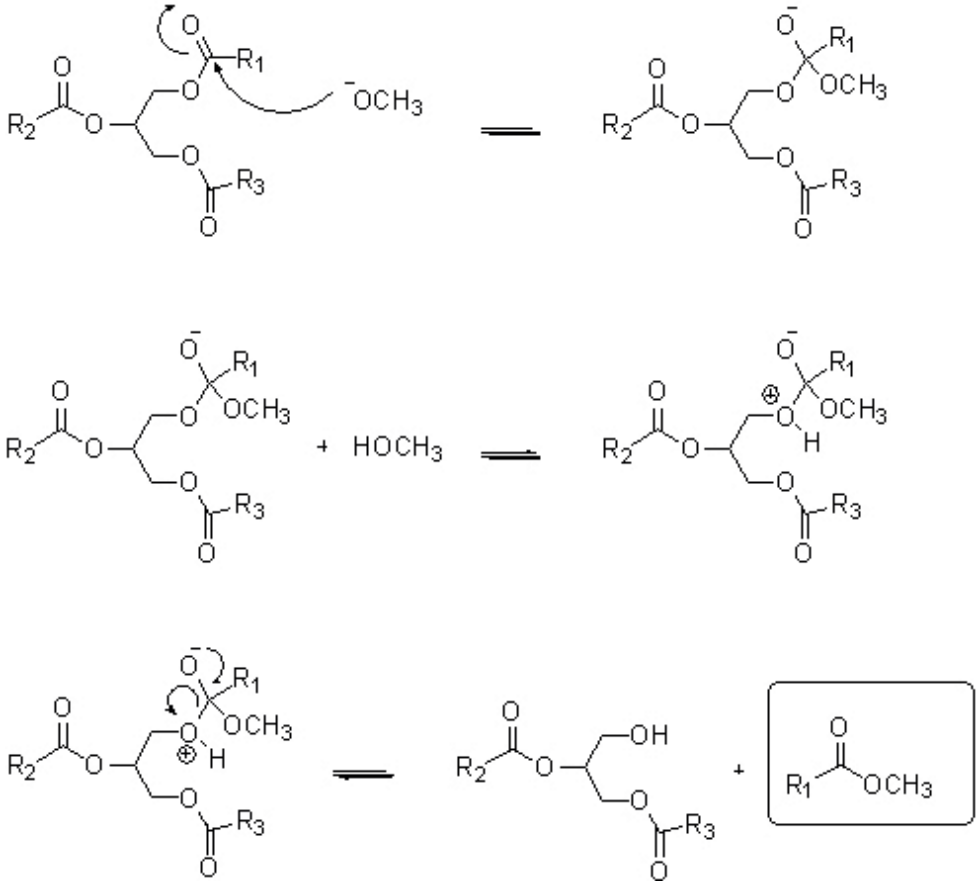
$$CH_3OH + KOH \rightleftharpoons CH_3O^{-}K^{+} + H_2O$$

**3.4. irudia. Metoxidoaren eraketa.**

Olioen transesterifikazio-erreakzioan hiru erreakzio itzulgarri gertatzen dira. Lehenengo pausoan triglizeridoa diglizerido bihurtzen da, ondoren monoglizerido eta bukaeran glizerina. Pauso bakoitzean ester (biodiesel) mol bat eratzen da.

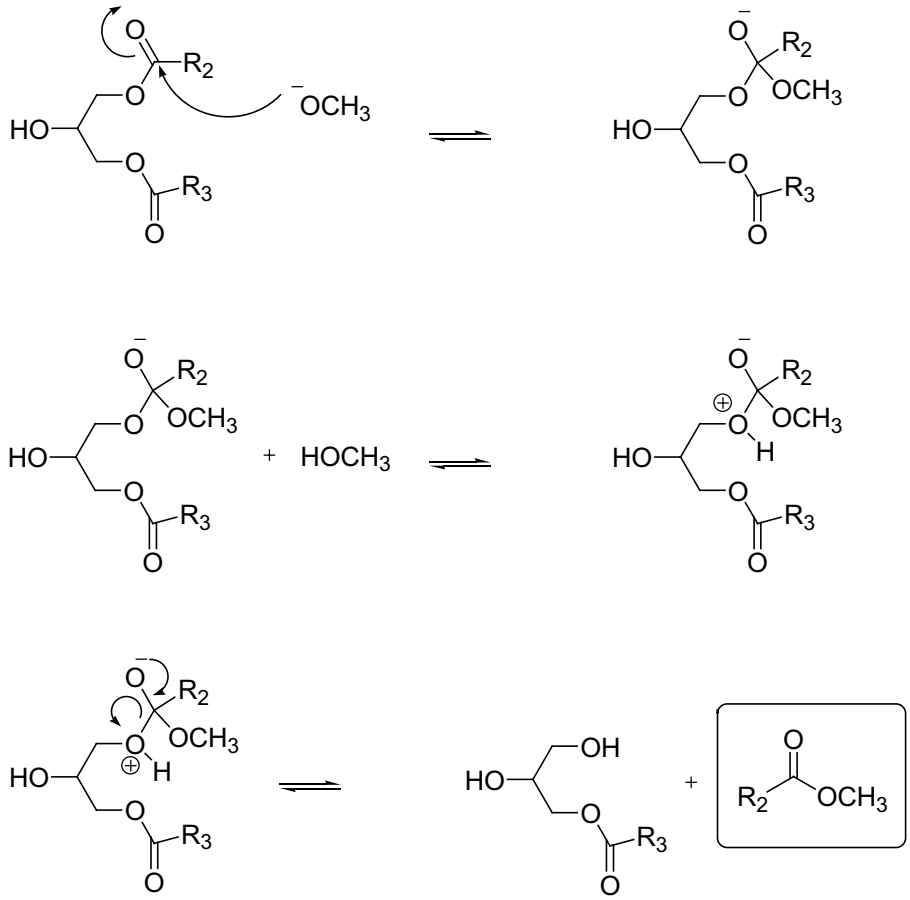
Transesterifikazio-erreakzioaren mekanismoa honako hau da:

i. Triglizeridoaren gainean gertatzen den metoxidoaren eraso nukleozalea.



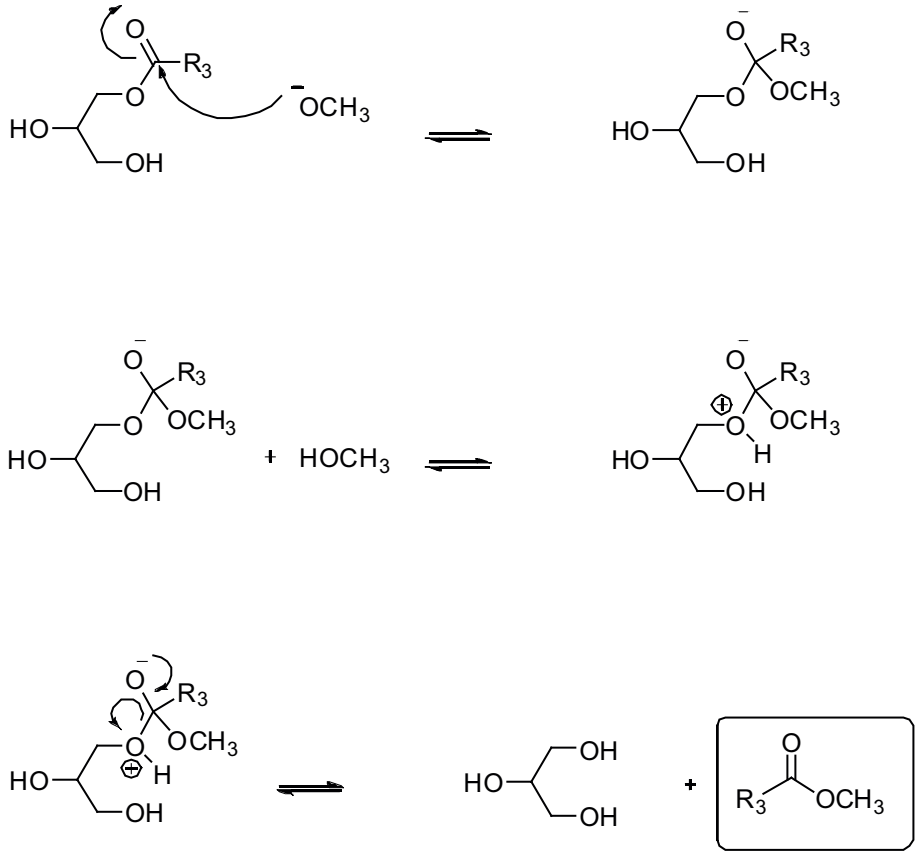

**3.5. irudia. Metoxidoaren eraso nukleozalea triglizeridoaren gainean.**

ii. Diglizeridoaren gainean gertatzen den metoxidoaren eraso nukleozalea.




**3.6. irudia. Metoxidoaren eraso nukleozalea diglizeridoan**.

iii. Monoglizeridoen gainean gertatzen den metoxidoaren eraso nukleozalea.




**3.7. irudia. Metoxidoaren eraso nukleozalea monoglizeridoan.**

Zinetikoki, erreakzio hau hiru oreka itzulgarriren sekuentzia bezala deskriba daiteke:

$$\text{Triglizeridoa (T)} + \text{R´OH (A)} \underset{k_2}{\overset{k_1}{\rightleftharpoons}} \text{Diglizeridoa (D)} + \text{R´COOR}_1 \text{ (E)}$$

$$\text{Diglizeridoa (D)} + \text{R´OH (A)} \underset{k_4}{\overset{k_3}{\rightleftharpoons}} \text{Monoglizeridoa (M)} + \text{R´COOR}_2 \text{ (E)}$$

$$\text{Monoglizeridoa (M)} + \text{R´OH (A)} \underset{k_6}{\overset{k_5}{\rightleftharpoons}} \text{Glizerina (G)} + \text{R´COOR}_3 \text{ (E)}$$

Erreakzio honetan, triglizeridoen gutxitzea hasierako momentuetan oso azkarra bada ere, geroago moteltzen hasten da, asintotikoki oreka-baliorantz desplazatuz. Hasiera batean nahastezinak diren bi faseak (agitazioz barreiatuta erreakzionarazteko), solugarri bihurtzen dira diglizeridoak eta monoglizeridoak agertzen diren heinean. Beraien kontzentrazioek bitarteko konposatuei dagokien ezaugarria dute, hau da, beraien kontzentrazioen aldaketak denboran zehar zero direla (egoera geldikorraren hipotesia).

Hurrengo lerroetan gure erreakzioari dagozkion ekuazio zinetikoen garapena agertzen da, erabilitako hizkiak konposatuen izenak laburbiltzeko ondokoak direlarik: *T = Triglizeridoak; D = Diglizeridoak; M = Monoglizeridoak; G = Glizerina, E = Ester metilikoak; A = Alkohola*

$$\frac{dT}{dt} = -(k_1C + k_{10})[\mathrm{T}][\mathrm{A}] + (k_2C + k_{20})[\mathrm{E}][\mathrm{D}]$$

$$\frac{dD}{dt} = -(k_1C + k_{10})[\mathrm{T}][\mathrm{A}] - (k_2C + k_{20})[\mathrm{E}][\mathrm{D}] - (k_3C + k_{30})[\mathrm{D}][\mathrm{A}] + \\ + (k_4C + k_{40})[\mathrm{E}][\mathrm{M}]$$

$$\frac{dM}{dt} = (k_3C + k_{30})[\mathrm{D}][\mathrm{A}] - (k_4C + k_{40})[\mathrm{E}][\mathrm{M}] - (k_5C + k_{50})[\mathrm{M}][\mathrm{A}] + \\ + (k_6C + k_{60})[\mathrm{E}][\mathrm{G}]$$

$$\frac{dG}{dt} = +(k_5C + k_{50})[\mathrm{M}][\mathrm{A}] - (k_6C + k_{60})[\mathrm{E}][\mathrm{G}]$$

$$\frac{dE}{dt} = +(k_1C + k_{10})[\mathrm{T}][\mathrm{A}] - (k_2C + k_{20})[\mathrm{E}][\mathrm{D}] + (k_3C + k_{30})[\mathrm{D}][\mathrm{A}] - \\ - (k_4C + k_{40})[\mathrm{E}][\mathrm{M}] + (k_5C + k_{50})[\mathrm{M}][\mathrm{A}] - (k_6C + k_{60})[\mathrm{E}][\mathrm{G}]$$

$$\frac{dA}{dt} = -(k_1C + k_{10})[\mathrm{T}][\mathrm{A}] + (k_2C + k_{20})[\mathrm{E}][\mathrm{D}] - (k_3C + k_{30})[\mathrm{D}][\mathrm{A}] + \\ + (k_4C + k_{40})[\mathrm{E}][\mathrm{M}] - (k_5C + k_{50})[\mathrm{M}][\mathrm{A}] + (k_6C + k_{60})[\mathrm{E}][\mathrm{G}]$$

non, $k_1$, $k_3$ eta $k_5$ zuzeneko abiadura konstanteak diren; $k_2$, $k_4$ eta $k_6$ kontrako norabidean gertatzen diren erreakzioen abiadura konstanteak; $k_{10}$ eta $k_{60}$ erreakzio hauen abiadura konstanteak prozesu ez-katalizatuetan, eta C hasarazlearen kontzentrazioa den.

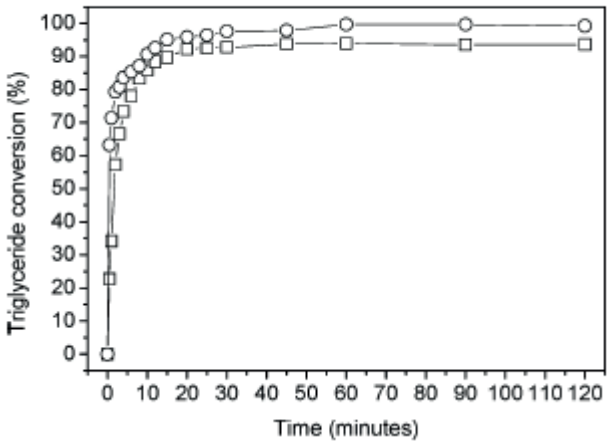
Antzeko terminoak batera ipintzen:

$$k'_1 = k_1 X + k_{10}$$
$$k'_2 = k_2 X + k_{20}$$
$$k'_3 = k_3 X + k_{30}$$
$$k'_4 = k_4 X + k_{40}$$
$$k'_5 = k_5 X + k_{50}$$
$$k'_6 = k_6 X + k_{60}$$

eta jakinda katalizatuta ez dauden abiadura konstanteak oso geldoak direla eta, beraz, arbuiagarriak direla, zera geratzen zaigu:

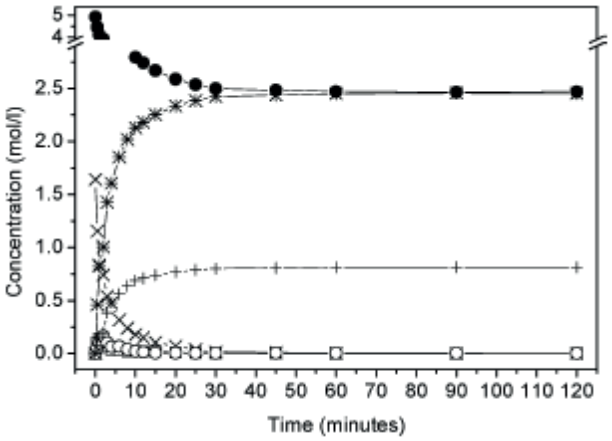
$$\frac{dT}{dt} = -(k'_1)[\mathrm{T}][\mathrm{A}] + (k'_2)[\mathrm{E}][\mathrm{D}]$$
$$\frac{dD}{dt} = -(k'_1)[\mathrm{T}][\mathrm{A}] - (k'_2)[\mathrm{E}][\mathrm{D}] - (k'_3)[\mathrm{D}][\mathrm{A}] + (k'_4)[\mathrm{E}][\mathrm{M}]$$
$$\frac{dM}{dt} = (k'_3)[\mathrm{D}][\mathrm{A}] - (k'_4)[\mathrm{E}][\mathrm{M}] - (k'_5)[\mathrm{M}][\mathrm{A}] + (k'_6)[\mathrm{E}][\mathrm{G}]$$
$$\frac{dG}{dt} = +(k'_5)[\mathrm{M}][\mathrm{A}] - (k'_6)[\mathrm{E}][\mathrm{G}]$$
$$\frac{dE}{dt} = +(k'_1)[\mathrm{T}][\mathrm{A}] - (k'_2)[\mathrm{E}][\mathrm{D}] + (k'_3)[\mathrm{D}][\mathrm{A}] - (k'_4)[\mathrm{E}][\mathrm{M}] + (k'_5)[\mathrm{M}][\mathrm{A}] - (k'_6)[\mathrm{E}][\mathrm{G}]$$
$$\frac{dA}{dt} = -(k'_1)[\mathrm{T}][\mathrm{A}] + (k'_2)[\mathrm{E}][\mathrm{D}] - (k'_3)[\mathrm{D}][\mathrm{A}] + (k'_4)[\mathrm{E}][\mathrm{M}] - (k'_5)[\mathrm{M}][\mathrm{A}] + (k'_6)[\mathrm{E}][\mathrm{G}]$$

Ekilore-olioaren triglizeridoen konbertsioa tenperatura desberdinetan 3.8. irudian (Vicente, Martinez, Aracil eta Esteban, 2005) ikus daiteke, non erabilitako beste baldintzak katalizatzailearen kontzentrazioa % 1 *p:p* eta agitazioa 600 rpm-koa izan diren.




**3.8. irudia. Ekilore-olioaren konbertsioa tenperatura desberdinetan.**

Ekilore-olioaren metanolisian parte hartzen duten erreaktibo eta produktuen kontzentrazio-aldaketak 3.9. irudian ikus ditzakegu (Encinar, Gonzalez eta Rodriguez-Reinares, 2005)




Tenperatura = 25 ºC, katalizatzailearen kontzentrazioa ekilore-olioan = 1,5 wt %, agitazioa = 600 rpm (x, triglizeridoak; □, diglizeridoak; ○, monoglizeridoak; + , glizerina; *, metil esterrak; ●; metanola).

**3.9. irudia. Ekilore-olioaren metanolisiaren konposizioa.**

Diglizerido eta monoglizeridoen kontzentrazioak, 3.9. irudian ikus daitekeen moduan, oso txikiak dira, eta denboran zehar konstante mantentzen dira; horregatik tarteko konposatuak bezalakoak dira.

Honako hauek dira lortutako emaitzak:

$k_1$ = 0,612 L·mol$^{-1}$ min$^{-1}$
$k_2$ = 3,135 L·mol$^{-1}$ min$^{-1}$
$k_3$ = 2,064 L·mol$^{-1}$ min$^{-1}$
$k_4$ = 1,606 L·mol$^{-1}$ min$^{-1}$
$k_5$ = 2,064 L·mol$^{-1}$ min$^{-1}$
$k_6$= ø (*oso balio txikiak*)

Erreakzio honek tenperaturarekiko duen mendekotasuna aztertu ostean, konbertsio maximoa edozein tenperaturatan lehenengo 30 minutuetan lortzen dela frogatu da, beraz, tenperaturak metil esterren kontzentrazioarekiko ez dauka mendekotasunik. 3.1. taulan kalkulatutako aktibazio-energiak eta aldagai aurre-esponentzialak erakusten dira.

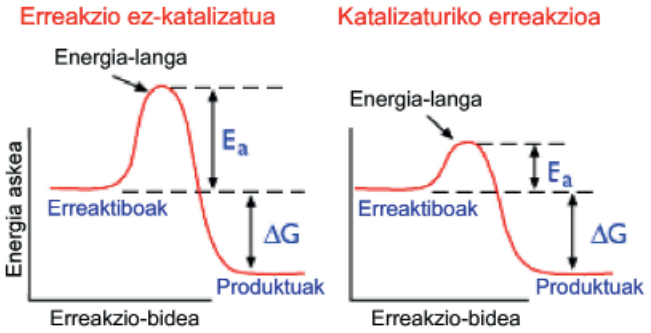
| Erreakzioa | T → D | T ← D | D → M | D ← M | M → G |
|---|---|---|---|---|---|
| Aktibazio-energia ($E_a$) (J/mol) | 31656,2 | 31014,3 | 41557,8 | 41107,2 | 5955,5 |
| Aldagai aurre-esponentzialak ($K_0$) | 3,4X10$^{12}$ | 9,8X10$^{12}$ | 2,1X10$^{17}$ | 1,21 X 10$^{17}$ | 537,9 |
| Erregrezio-koefizientea ($r^2$) | 0,9889 | 0,9817 | 0,9556 | 0,9053 | 0,9608 |

T → D: triglizeridoen erreakzioa diglizeridoetan. T ← D: diglizeridoen erreakzioa triglizeridoetan. D → M: diglizeridoen erreakzioa monoglizeridoetan. D ← M: onoglizeridoen erreakzioa diglizeridoetan. M → G: monoglizeridoen erreakzioa glizerinan.

**3.1. taula. Aktibazio-energiak eta aldagai aurre-esponentzialak.**

Katalizatzaileek erreakzioaren mekanismo zinetikoa (erreakzio-bidea) aldatzen dute, erreakzioaren aktibazio-energia aldatzen baitute. Katalizatzaile gabeko erreakzio baten diagramaren eta katalizatzailea erabilita lortutako erreakzioaren diagramaren arteko konparaketa 3.10. irudian erakusten da. Kasu honetan, katalizatzaileak eragiten duen aktibazio-energiaren jaitsierak, 1. formularen arabera, *k* abiadura konstantearen igoera eragingo luke erreakzioaren abiadura handituz. Aipagarria da erreakzioaren bukaeran katalizatzaileak berreskuratu egiten direla.

$$k = A\, e^{-Ea/RT}$$ **1. formula**




**3.10. irudia. Katalizatzailea erabilita eta katalizatzaile barik sortutako diagramen konparaketa.**

Biodieselaren ekoizpen-prozesuan, normalean, katalizatzaile homogeneo basikoak (metanolean disolbaturiko KOH edo NaOH) erabiltzen dira. Katalizatzaileen erabilerak ez du erreakzioaren konbertsioa aldatuko, ezta beste inolako propietate termodinamikorik ere.

Erreakzioaren oreka eskumarantz desplazatzeko zenbait baldintza kontuan hartu beharko ditugu.

Erreakzioa ahalik eta tenperatura altuenetan burutzeak zinetikoki erreakzioa azkartzea dakar, baina exotermikoa izanik, termodinamikoki ezkerrerantz desplazatzea eragingo luke. Azken azalpen hau hurrengo ekuazioen garapenean laburbiltzen da:

$$k = A\,e^{-Ea/RT} \qquad T \uparrow \Rightarrow k \uparrow$$

$$\Delta G = -R \times T \times \ln K = -\frac{\Delta G}{R \times T} = -\frac{\Delta H - T \times \Delta S}{R \times T} =$$

$$= \frac{1}{R} \times \left( \Delta S - \frac{\Delta H}{T} \right) \Rightarrow K = e^{\frac{1}{R} \times \left( \Delta S - \frac{\Delta H}{T} \right)}$$

Tenperaturaren eragina entropia- eta entalpia-aldaketetan arbuiatuz, tenperatura igotzean oreka-konstantearen adierazpenaren berretzailea txikiagoa izango da ($\Delta H<0$ baita) eta, ondorioz, *K* oreka-konstantea txikiagoa izango da. Horretaz gain, tenperatura ezin da metanolaren irakite-tenperatura baino altuagoa izan (T = 65 ºC) hain zuzen.

Erreakzioan zehar sortzen diren produktuak kentzeak oreka eskumarantz desplazatuko luke (2. eta 3. formulak). Hortaz, produktu gisa lortzen den glizerina beste fase batean egonik, berez desplazatu dugu oreka.

$$Q = \frac{[\text{Produktuak}]}{[\text{Erreaktiboak}]}$$ **2. formula**

$$K = \frac{[\text{Produktuak}]_{\text{oreka}}}{[\text{Erreaktiboak}]_{\text{oreka}}}$$ **3. formula**

Produktuak desagertzean Q < K, beraz, oreka berreskuratzeko, erreakzioa eskumarantz desplazatuko da.

Komenigarria litzateke erreaktiboak kantitate ez-estekiometrikoetan gehitzea, erreaktibo baten soberak (alkohola) gainerakoen konbertsioa (triglizeridoa) handituko bailuke.

Behin erreakzioa gauzatzeko baldintza egokienak zeintzuk diren aztertuta, prozedura esperimentalarekin has gaitezke.

### *3.3. BIBLIOGRAFIA*

Encinar, J. M.; González, J. F. eta Rodríguez-Reinares, A. (2005): "Biodiesel from Used Frying Oil. Variables Affecting the Yields and Characteristics of the Biodiesel", *Ind. Eng. Chem. Res.,* **44 (15)**, 5.491-5.499.

Gerpen, J. V. (2005): "Biodiesel processing and production", *Fuel Processing Technology*, **86**, 1097-1107.

Mittelbach, M. eta Remschmidt, C. (2007): *Biodielesel. El Manual Completo*, Ed. Martin Mittelbach, Austria.

Torossi Baudino, F. D. (2006): "Reacciones en contexto: la transestrificacion en la producción de biodiesel a partir de aceite de fritura usado", *An. Quim.,* **102**, 43-49.

Vicente, G.; Martínez, M.; Aracil, J. eta Esteban, A. (2005): "Kinetics of Sunflower Oil Methanolysis", *Ind. Eng. Chem. Res.,* **44 (15)**, 5.447-5.454.

# 4. Erreaktiboak eta teknika esperimentalak

## *4.1. SARRERA*

Ikerkuntza-lan hau jasangarritasunean guztiok eman dezakegun urrats txiki batekin lotuta dago, hain zuzen ere, hondakin bezala botatzen dugun olioari bioerregai moduan erabilera berri bat ematearekin.

Gure helburuak bi dira: alde batetik, Euskal Herriko Unibertsitateko irakasle, ikasle eta gainerako langileak olioa birziklatzeak duen garrantziaz jabetzea. Eta, bestetik, UPV/EHUko jantokietan eta unibertsitarioen etxeetan ekoizten den erabilitako olioen transesterifikazioa egitea eta sintetizaturiko biodiesel horren karakterizazioa gauzatzea, EN 14214 europar arautegia betetzen duen ala ez frogatzeko.

Aipatu beharra dago proiektuaren hasierako helburuen artean bi hauek zeudela: erabilitako olioaren aprobetxamendurako olio-kolektoreak kokatzea unibertsitatean, eta biodieselaren ekoizpenerako planta txiki bat eraikitzea. Hala ere, proiektuak iraun duen denboraren barnean aurrerapauso garrantzitsuak eman dira alor honetan. Egun, erabilitako olio-kolektoreen kopurua nabarmenki ugaritu da gure herri eta hirietan. Gainera, unibertsitatea bere jantokietako olioen birziklatzeaz arduratzen da jadanik. Hortaz, aipaturiko azken bi helburu horiek alde batera utzi dira.

Eta zergatik olioa birziklatu? Nola izan daiteke kaltegarria ingurumenarentzat elikatzeko erabili dugun gaia? Landare-olioak kimikoki ester glizeridoak dira, tenperatura altuak jasaten dituztenez eta, olioetan frijitzen ditugun elikagaiek uzten duten uraren ondorioz, oxidazio-, hidrolisi- eta degradazio-prozesuak jasaten dituzte. Prozesu horien ondorioz, olioa ezin daitekeenez berriro erabili, hondakin bihurtzen da. OMAM 304/2002 legeak dio olioa LER 200125 motako hondakina dela. Eta biltzen ez dugun olioa harraskatik behera botatzen badugu, ur-araztegietan bukatuko du. Ur-araztegietara ailegatzen den olio guztia kentzea ezinezkoa denez, erreketara doa eta, ondorioz, itsasora ailegatzen da ekosistema hondatuz.

Kontuan izanik litro bat oliok 1.000 L ur kutsatzen dituela, eta Euskal Herrian 3 milioi inguru biztanle garela, erabilitako olioari irtenbide egoki bat ematen ez badiogu, kutsa daitekeen ur kopurua izugarri altua izan daiteke, ondorio larriak sorraraziz ur-araztegietan eta ekosistema urtsuetan.

Proiektu honen barnean ere, unibertsitateko ikasleekin jasotako datuak erabilita, pertsonako ekoitzitako olio-hondakina estimatu dugu.

Ingurumenarekin loturiko arrazoiez gain, kontuan hartu behar da birziklatze-prozesua ekonomikoki bideragarria dela, hondakin hau modu erraz eta sinple batean balio altuko produktu bihur baitaiteke. Halere, prestaturiko biodieselak erregai modura saltzeko bete behar dituen propietateak EN 14214 europar arautegiak ezartzen ditu. Oso arautegi zorrotza da eta bertan ezartzen diren balio limiteen artean egotea derrigorrezkoa da.

Bestalde, ikerkuntza honen barnean bizitza-zikloaren analisia jorratu da. Honelako analisiak beharrezkoak dira erregai baten bideragarritasun energetikoa argi eta garbi azaltzeko.

Azkenik, aipatu beharra dago ikasleak olioaren birziklatzearen garrantziaz jabearazteaz gain, haien inplikazioa lortu dela laborategiko praktikak aprobetxatuz etxeko olio-hondakinen transesterifikazioa gauzatzeko, prozeduraren oinarri praktikoak zein teorikoak aztertuz.

Atal honetan deskribatuko ditugu laborategira iristen zaigun olio erabili eta zikin horretatik biodiesel garbia lortu arte egin ditugun analisiak eta beraien zergatiak, laborategian erabilitako teknika esperimentalen deskribapena, zeinek erreakzioan zehar gertatzen denaren informazioa ematen diguten, lorturiko emaitzak eta horiei esker atera ditugun ondorioak. Besteak beste, gure laborategian transesterifikatutako oliotik lortu dugun biodieselak ez ditu EN 14214 arauak bildutako ezaugarri guztiak betetzen.

Irakurri atal hau, irakurle maitea, eta aurreko galderen erantzunak aurkituko dituzu, bitartean, ikerketaren adibide praktiko eta ulergarriekin gozatzea espero dugu.

Laborategian egindako saio guztien ondorio orokor batzuk baino ez dira atal honetan laburbildutakoak. Ehunka saio esperimental, aparatuen kalibrazioak, doiketak eta gure eguneroko garbiketak ezkutatuta geratzen dira hurrengo orrietan.

Atal honen deskribapena zientzialariok erabiltzen dugun hizkera zientifikoan idatzita dago. Zehatza, zorrotza eta laburra.

## *4.2. ERREAKTIBOAK*

Ikerkuntza-lan honetan erabili diren erreaktibo guztiak ekoizleak prestatu dituen moduan erabiliak izan dira inolako aurrepurifikaziorik gabe. 4.1. taulak erabilitako erreaktiboak biltzen ditu dagozkien ekoizleak (EK), kalitate analitikoa (KA) eta pisu molekularra (PM) adieraziz.

| Konposatua | Formula | EK | KA[a] | PM (g/mol) |
|---|---|---|---|---|
| Potasio hidroxidoa | KOH | Panreac | p.a. | 56,1 |
| Metanola | $CH_3OH$ | Panreac | p.a. | 32,0 |
| Etanola | EtOH | Panreac | p.a. | 46,0 |
| Ziklohexanoa | $C_6H_{12}$ | Panreac | p.s. | 84,1 |
| Potasio ioduroa | KI | Merck | p.a. | 166,0 |
| Azido azetiko glaziala | $CH_3$–COOH | Merck | p.a. | 119,0 |
| Sodio tiosulfato 5-hidratoa | $Na_2S_2O_3.5H_2O$ | Panreac | p.a. | 248,1 |
| Iodo monokloruroa | ICl | Panreac | p.s. | 162,3 |
| 2-Propanola | $(CH_3)_2$–CHOH | Panreac | p.a. | 60,1 |

[a] p.s.: sintesirako; p.a.: analisirako.

**4.1. taula. Erabilitako erreaktiboak.**

4.2. taulan erregistro-zenbakia (EZ), Chemical Abstracts Service-ko erregistro-zenbakia (CAS), arrisku berezien deskribapena (R) eta substantzia arriskutsuen erabilerarako segurtasun-aholkuak (S) agertzen dira.

| Konposatua | EZ | CAS | R | S |
|---|---|---|---|---|
| Potasio hidroxidoa | 131515 | 1310-58-3 | 22-35 | 26-36/37/39-45 |
| Metanola | 131091 | 67-56-1 | 11-23/24/25-39/23/24/25 | 7-16-36/37-45 |
| Etanola | 121086 | 64-17-5 | 11 | 7-16 |
| Ziklohexanoa | 161250 | 110-82-7 | 11-38-65-67-50/53 | 9-16-25-33-51-60-61-62 |
| Potasio ioduroa | 105040 | 7681-11-0 | - | - |
| Azido azetiko glaziala | 101830 | 64-19-7 | 10-35 | 23-26-45 |
| Sodio tiosulfato 5-hidratoa | 131721 | 10102-17-7 | - | - |
| Potasio ioduroa | 15A884 | 7790-99-0 | 34-37 | 26-36/37/39-45 |
| 2-Propanola | 15A884 | 67-63-0 | 11-36-67 | 7-16-24/25-26 |

**4.2. taula. Erabilitako erreaktiboen identifikazioa eta segurtasun-datuak.**

## *4.3. EZAUGARRITZE-TEKNIKAK*

Ondoren olioak eta biodieselak ezaugarritzeko erabili diren teknika esperimentalen eta instrumentazioaren oinarriak azaltzen dira.

### *4.3.1. Analisi elementala*

Biodiesel-laginen C-aren, H-aren eta N-ren portzentajeak determinatu dira UPV/EHUko ikerkuntzarako zerbitzu orokorretan (SGIker) dagoen *EUROVECTOR EA 3000* analizatzailea erabilita.

### *4.3.2. Balorazio bolumetrikoa*

Olio-lagin bakoitzaren azido askeen kopurua balorazio bolumetriko baten bitartez neurtu da. Horretarako, 0,1 M NaOH-zko disoluzio baloratzailea eta fenoftaleina adierazlea erabili dira. Neurketa horretatik olioaren azidotasun-gradua (AGL) eta azidotasun-indizea (IA) eratorri dira.

Azidotasun-graduak azido askeen kopurua zehazten du azido oleikoaren %-tan adierazita (1. formula).

$$AGL_{AZ.OLEIKO} = \frac{B_{KOH}\ mL \times 2{,}82}{m_{OLIO}\ g} \qquad \textbf{1. formula}$$

Azidotasun-indizeak (AI), berriz, 1 g koipe neutralizatzeko behar den potasio hidroxidoa mg-tan adierazten du (2. formula).

$$AI = AGL \times 1{,}99 \qquad \textbf{2. formula}$$

Bestalde, sintetizaturiko biodiesel-laginen azidotasun-indizea (TAN) neurtu da, horretarako metanolean disolbaturiko 0,1 M KOH-zko disoluzio baloratzailea erabili da eta bi lagin prestatu dira. Zuria, 2-propanol dituen 50 mL-ko disoluzioa, eta 10 g lagin disolbatuta duen beste 50 mL-ko 2-propanol disoluzioa. Bi disoluzio horiei fenoftaleina tanta batzuk gehitu eta aurretiaz prestaturiko KOH disoluzioarekin baloratu dira. Behin balorazioa bukatuta, 3. formula erabilita azidotasun-indizea (TAN) kalkula daiteke.

$$TAN = KOH\ mg / lagin\ g = \frac{56{,}1 \times (B_{lagin} - B_{zuria}) \times C_{KOH}}{m_{lagin}} \qquad \textbf{3. formula}$$

Non, $B_{lagin}$ lagina baloratzean gastatutako KOH-zko disoluzioaren bolumena (mL) den; $B_{zuria}$, lagin zuria baloratzean gastatutako KOH-zko disoluzioaren bolumena (mL) den; C, KOH-zko disoluzioaren kontzentrazioa (M), eta m, laginaren masa den.

### *4.3.3. Kalorimetria*

Erregaiek oxigenoarekin erreakzionatzean askaturiko beroari errekuntza-beroa deitzen zaio. Erreakzioan askaturiko beroa ur likidoaren kantitate jakin batean gertatzen den tenperatura-aldaketa neurtuz kalkulatzen da. Neurketa hori ponpa kalorimetrikoa erabilita egiten da, berau sistema adiabatikotzat hartuta.

Lan honetan aurkezturiko neurketak gauzatzeko 4.1. irudian ikus daitekeen *Parr* etxeko 1341 ponpa erabili da. Lehendabizi, ponpa azido bentzoikoarekin kalibratu da bere energiaren aldagai baliokidea (W) kalkulatzeko, ondoko emaitza lorturik: W =10181,3 J/ºC.

**4.1. irudia. Parr 1341 ponpa kalorimetrikoa.**

Prestaturiko metil esterren neurketak egiteko 1 g lagin inguru pisatu da $10^{-4}$ g-ko zehaztasunarekin. Lagina bi elektrodoetara loturik dagoen ignizio-hari batekin kontaktuan jarri ostean, ponpa itxi eta oxigenoz bete da 30 bar-eko presio pean, laginaren erabateko erreketa gerta dadin. Ponpa urez beteriko ontzian sartu eta irabiaketa eta termometroak duen tapa jarri da inguruko tenperatura-aldaketak ekiditeko. Behin sistema egonkortuta, neurketarekin hasten gara. Tenperatura konstantea denean, biodieselaren erreketa eragiten da ignizio-harien bidez. Erreakzio honetan askatutako beroak uraren tenperatura gehitzen du. Tenperatura-aldaketa honen bitartez erreakzioan askatutako beroa, $Q$, kalkula daiteke 4. formula erabilita:

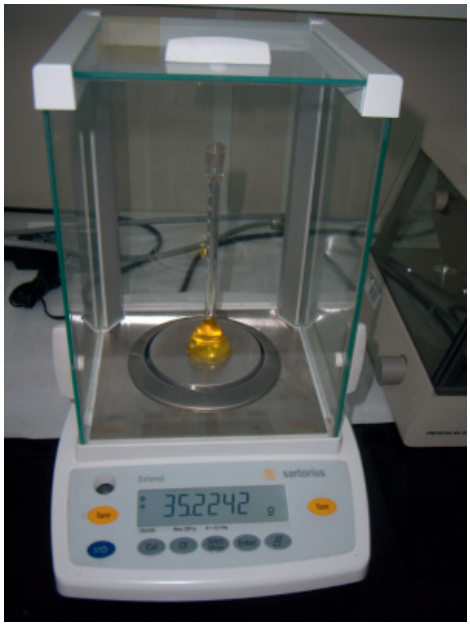
$$Q = \frac{w.\Delta T - e_1 - e_2}{m} \qquad \textbf{4. formula}$$

Non, $w$, ponpa kalorimetrikoaren baliokide termikoa; $e_1$ azido nitrikoaren formazioaren zuzenketa-faktorea, $e_2$, hariaren erreketaren zuzenketa-faktorea, eta m, laginaren pisua diren. Gure kasuan $e_2$ zuzenketa-faktorea ez dugu kontuan izan behar, arbuiagarria baita.

### *4.3.4. Piknometria*

Likido baten dentsitatea kalkulatzea gauza erraza da baldin likido horren masa jakin batek betetzen duen bolumena neurtzen bada. Piknometria, printzipio horretan oinarritzen da.

Biodieselen dentsitateak piknometro baten bidez neurtu dira 15 ºC-ko tenperaturan (4.2. irudia).




**4.2. irudia. Metil esterrez beteriko piknometroaren pisaketa.**

Horretarako, lehendabizi piknometroa ur destilatuarekin kalibratu da, ondoren azaltzen den prozedurari jarraituta. Likido horren meniskoak piknometro batean *h* delako altueran dagoenean betetzen duen bolumena ondoko ekuazioak (5. formula) ematen du:

$$V_h = V_b + h \cdot v \qquad \textbf{5. formula}$$

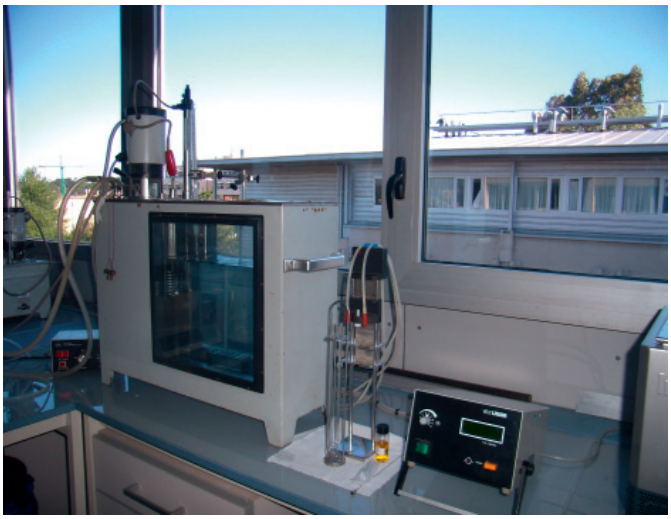
non, $V_h$, *h* altuera horretan betetako bolumena; $V_b$, bulboaren bolumena, eta *v*, lerroen arteko bolumena diren. Ur destilatuarekin kalibratu osteko ekuazioa ondokoa da:

$$V_{piknometroa} = 10{,}8248 + 3{,}3981.10^{-3} \cdot h \qquad \textbf{6. formula}$$

Kalibrazio-ekuazioa erabilita, biodiesel-laginen pisu bakoitzak hartzen duen bolumena kalkulatu da, eta bi balio horiek erabilita euren dentsitateak ondorioztatu dira.

### *4.3.5. Biskosimetria*

Biskositatea neurtzeko *Lauda Viscoboy 2* biskosimetro automatikoa erabili da (4.3. irudia). Erabilitako kapilar mota mikro I:C da, bere diametroa 0,53 mm delarik. Biskositatea tenperaturaren menpe dagoenez, neurketak egiteko 40 ºC-an termoestatizatutako bainua erabili da.



**4.3. irudia. Bainu termostatizatua eta biskosimetroa.**

Biskosimetro automatikoa erabilita, laginak kapilarrean zehar distantzia jakin bat erortzeko behar duen denbora neurtu da. Lagin bakoitzarekin 5-6 neurketa burutu dira batez besteko denbora xehetasun onargarri batekin edukitzeko. Erorketa-denboraren batez besteko balioa 7. formulan ordezkatuta biskositatearen emaitza lortzen da.

$$\eta = k \cdot (\bar{t} - \upsilon) \qquad \textbf{7. formula}$$

### *4.3.6. Protoiaren erresonantzia magnetiko nuklearra*

Protoiaren erresonantzia magnetiko nuklearraren (EMN-$^1$H) neurketak UPV/EHUko ikerkuntzarako zerbitzu orokorretan (SGIker) egin dira *BRUKER AV500* espektrometroa erabilita, 500 MHz-eko maiztasunean eta 25 ºC-an. Neurketa burutzeko espektrometroa Z ardatzean gradienteak eta 5 mm-ko zabaleradun banda zabaleko alderantzizko zundaz hornitua egonik. Neurturiko desplazamendu kimikoak TMSrekiko (0 ppm) erlatiboak dira.

### *4.3.7. Iodometria*

Iodo-indizearen neurketak metil esterrek edo olioek duten asegabetasun maila ezagutzea ahalbidetzen du. Iodo-indizea laginaren 100 gramorekin erreakzionatzen

duten iodoaren gramoen bidez adierazten da. Balorazioa aurrera eramateko, lehendabizi 0,1 gramo biodiesel ziklohexanotan disolbatzen dira 10 mL-ko matraze batean. Horrekin batera, lagin zuri bat prestatuko da 10 mL-ko matrazea ziklohexanoz bakarrik betez. Jarraian, Wijs erreaktiboaren disoluzioa (0,25 M) prestatuko da, ICl (iodo monokloruro) azido azetiko glazialean disolbatuz. Lagina duen disoluzioaren 10 mL eta Wijs erreaktiboaren 5 mL erlenmeyer matraze batean nahasten dira eta ilunpean ordubetez erreakzionatzen uzten dira, erlenmeyer matrazea tapoi batez itxita dagoela. Azken urrats hori, lagin zuriaren disoluzioarekin errepikatzen da. Behin erreakzio-denbora pasatuta, erlenmeyer matrazetan dagoen disoluzio bakoitzari 10 mL KI ur-disoluzioa (0,6 M) eta almidoi adierazlearen tanta bat gehitzen zaizkio. Ondoren, disoluzio bakoitza sodio tiosulfatozko (0,1 M) disoluzioaz baloratzen da, iodo-indizea (*II*) 8. formularen bitartez kalkulatzen delarik.

$$II = \frac{12,69 \times C \times V_1 - V_2}{P}$$ **8. formula**

non, *C*, sodio tiosulfato patroiaren kontzentrazioa (M); $V_1$, lagin zurian erabilitako sodio tiosulfatoaren bolumena (mL); $V_2$, laginean erabilitako sodio tiosulfatoaren bolumena (mL), eta *P*, laginaren pisua (*g*) diren.

### *4.3.8. Destilazio-kurbak*

Destilazio-kurbak irakite-tenperaturen eboluzioa ezagutzeko egin dira, eta Ingeniaritza Kimikoa Saileko GC batean egin dira ASTM D 2888-06 norma betez: *Sandard Test Method for Boiling Range Distribution of Petroleum Fractions by Gas Chomatograph*.

### *4.3.9. Gas-kromatografia eta masa-espektroskopia*

Gas-kromatografia masa-espektroskopiarekin batera erabili da ikerkuntza-lan honetan sintetizatu diren metil esterraren laginen konposizioa identifikatzeko. Neurketak UPV/EHUko ikerkuntzarako zerbitzu orokorretan (SGIker) egin dira, balantza analitiko bat, *AGILENT 6890* gas-kromatografoa eta *AGILENT 5975* masa-detektagailua erabilita. 4.3. taulan gas-kromatografia eta masa-espektroskopiaren baldintzak ikus ditzakegu.

| Injekzioa | Injekzio-tenperatura (ºC) | Zutabea | Emaria (mL/min) |
|---|---|---|---|
| Split (10:1) | 270 | HP-5MS % 5 fenil metil siloxano, L: 30 m, BD: 0,25 mm, KD: 0,25 µm | 1.0 |

L: zutabearen luzera, BD: barne-diametroa, KD: kanpo-diametroa.

**4.3. taula. Gas-kromatografia eta masa-espektroskopiaren baldintzak.**

## *4.4. PROZEDURA ESPERIMENTALA ETA OLIOAREN EGOKITZEA*

Euskal Herriko Unibertsitateak dituen jantokiak hiru probintzietan dauden campusetan (4.4. irudia) banatzen dira. Campus bakoitzak ekoizten duen olio kantitatea 4.4. taulan ageri da. Ekoitzitako olio kopurua langile eta ikasleen menpe dagoenez, arrazoizkoa da Bizkaiko campusa gailentzea beste bien aurrean.

**4.4. irudia. Euskal Herriko Unibertsitateko campusak.**

| Campusa | Ekoizpena (Litro/hilabete) |
|---|---|
| Bizkaia | 400 |
| Gipuzkoa | 240 |
| Araba | 100 |

**4.4. taula. Olio-ekoizpena.**

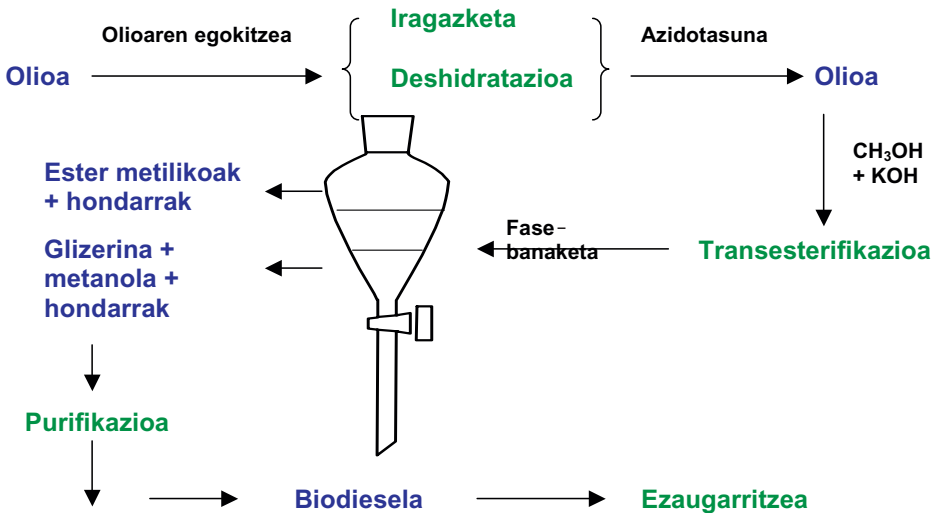
Ikerkuntza-lan honetan sintetizatu den biodiesela 4.1. eskeman azaltzen den prozedurari jarraituta lortu da. Horretarako, campus bakoitzeko jantokietako olioak erabiltzeaz gain, ikasleek beren etxeetan ekoitzitakoa ere erabili da. Guztira, honako sei lagin hauek erabili dira: Leioako campuseko lagina (LE), Donostiako campuseko lagina (SS), Bilboko campuseko lagina (BI), Gasteizko campuseko lagina (SS), Ikasleen lagina (IK) eta Ikasleen lagina 2 (IK2). Prestaturiko biodieselak

ezaugarritu ostean, lagin berri bat eratzeko guztiak nahastu dira, EHU biodiesela hain zuzen ere. Campus jakin bateko oliotik eratorritako biodiesela legeak ezarritako limiteen barnean ez balego ere, gainerako campusei dagozkien biodieselen nahaste-proportzioak kontrolatuz arautegia betearaz daiteke. EHU laginaren nahasketa-proportzioak 4.5. taulan erakusten dira.

| FAME | Bolumena (mL) |
|---|---|
| IK | 268 |
| LE | 470 |
| SS | 328 |
| BI | 350 |
| VI | 342 |
| IK2 | 194 |

**4.5. taula. EHU laginaren nahaste-proportzioak.**

Aipatu behar da erabili diren proportzioak ez direla nahastu egindako analisien emaitzak ikusita, baizik eta 2 litro behar genituelako EN14214 europar arauak ezartzen dituen saioak gauzatzeko.




**4.1. eskema. Biodiesela sintetizatzeko urratsak.**

### *4.4.1. Iragazketa*

Olioa grabitatez iragazi da janaria prestatzean sortu diren ezpurutasunak kentzeko. Iragazketa nahiko motela izan daitekeenez, kantitate txiki bat iragazten denean azidotasuna neurtzea gomendagarria izan daiteke. Iragazitako olioak, oro har, ezpurutasun gabekoak dira, ezpurutasunak laginen ontzi hondoetan metatzen baitira; beraz, ezpurutasunak ezin izan dira kuantifikatu arbuiagarriak izan direlako.

### *4.4.2. Deshidratazioa*

Transesterifikazioak inguru basikoan gauzatzen direnez, erreaktiboak anhidroak izan behar dira; beraz, olioa lehortu behar da transesterifikatu baino lehen. Horretarako olioa 120 ºC-ra berotu da 10 minutu inguru irabiagailu magnetikoa erabilita. 4.6. taulan olio-laginen ur-edukia adierazten da.

### *4.4.3. Azidotasunaren determinazioa*

1 g olio 10 mL etanoletan disolbatu dira 60 ºC-an. Olio-disoluzioari hiru tanta fenoftaleina gehitu ostean, aurretiaz prestatutako potasio hidroxidoaren disoluzioa (0,1 M) erabili da balorazioa burutzeko. 4.6. taulan lortutako azidotasun-indizearen emaitzak erakusten dira:

| Olio-laginak | % AGL | % IA | % Ur-edukia |
|---|---|---|---|
| IK | 0,28 | 0,55 | 0,31 |
| LE | 0,28 | 0,55 | 0,42 |
| SS | 1,11 | 2,20 | 0,44 |
| BI | 0,55 | 1,10 | 0,20 |
| VI | 0,56 | 1,12 | 0,18 |
| IK2 | 0,82 | 1,63 | 0,27 |

**4.6. taula. Olio-laginen ezaugarriak.**

### *4.4.4. Metoxidoaren prestaketa*

Metoxidoaren prestaketa bitrinan egin da 250 mL-ko tapadun erlenmeyer batean. Oro har, azido askeen edukia % 5 baino baxuagoa denez, katalizatzailearen kantitatea % 1 *p:p* izan da. 6:1 alkohol:olio erlazioa erabili da. 4.7. taulan sintesi bakoitzean erabilitako erreaktibo kantitateak erakusten dira.

### *4.4.5. Transesterifikazioa*

4.5. irudian erakusten den moduan, 1.000 mL-ko hiru ahoko matraze biribil batean olio egokituaren 500 mL sartu dira. Ur-bainuan berotzen jarri dira 60 ºC lortu arte, ondoren birfluxua eta irabiagailu magnetikoa 600 rpm-tan konektatu eta kaltzio klorurozko lehortze-hodia jarri eta 5 minutu igarota metoxidoa gehitu da. Egindako

sintesi guztiak 50-60 ºC tenperatura-tartean burutu dira, 4.7. taulan azaltzen diren erreaktibo-proportzioak erabilita. Ordu bat itxaron ostean, nahasketa dekantazio-inbutuan jarri da faseak bereiz daitezen.

| Laginak | Olio egokitua(g) | KOH(g) | MeOH(mL) |
|---|---|---|---|
| IK | 416,60 | 4,17 | 125 |
| LE | 427,50 | 4,28 | 128 |
| SS | 426,50 | 4,26 | 128 |
| BI | 441,30 | 4,41 | 132 |
| VI | 435,00 | 4,35 | 130 |
| IK2 | 433,00 | 4,33 | 130 |

**4.7. taula. Transesterifikazioan erabilitako erreaktiboak.**

**4.5. irudia. Transesterifikazio-erreakzioaren muntaketa.**

### *4.4.6. Fase-banaketa*

12 ordu pasatu ondoren, eratu diren bi geruzen banaketa egin da. 4.6. irudian bi faseen arteko bereizketa ikus daiteke non, goiko geruzan biodiesela eta hondarrak dauden, eta behekoan, glizerina, metanola eta hondarrak. Lortutako glizerina pisatu eta ontzi batean gorde da etorkizunean saiaketa desberdinetan erabiltzeko.

**4.6. irudia. Glizerina eta biodieselaren fase-bereizketa.**

### *4.4.7. Purifikazioa*

Biodiesela purifikatzeko, lehenik eta behin, errotabaporea erabili da MeOH hondarrak eliminatzeko. Hori egin ostean, 80 ºC-an dagoen ur beroarekin garbitu da pH neutroa lortu arte. Azkenik, biodiesela 100 ºC-an berotu da ura eliminatzeko. 4.8. taulak egindako saiakera guztien etekinak biltzen ditu.

| FAME Laginak | FAME(g) | FAME teorikoa(g) | Etekina (%) |
|---|---|---|---|
| IK | 402,10 | 403,53 | 99,64 |
| LE | 411,20 | 414,08 | 99,30 |
| SS | 394,00 | 413,12 | 95,37 |
| BI | 415,70 | 427,45 | 97,24 |
| VI | 406,30 | 421,35 | 96,42 |
| IK2 | 254,80 | 419,41 | 60,75 |

**4.8. taula. Saiakera bakoitzaren etekinak.**

IK2 laginaren etekina hain baxua izatearen arrazoia da hainbat garbiketa egin behar izan zirela apar ugari zegoelako.

### *4.4.8. Ezaugarritzea*

Lortutako metil esterrak isolatu eta purifikatu ostean (LE, BI, SS, VI, IK, IK2), haien ezaugarritze kimikoa gauzatu da; horretarako hainbat propietate kimiko, fisiko eta organiko neurtu dira, ondoko teknika esperimentalen bitartez:

- Analisi elementala, C, H eta O portzentajeak determinatzeko.
- Balorazio bolumetrikoa, azido askeen kantitatea zehazteko.
- Kalorimetria, metil ester hauen bero-ahalmena neurtzeko.
- Piknometria, metil ester laginen dentsitateak neurtzeko.
- Biskosimetria, haien biskositatea determinatzeko.
- Protoiaren erresonantzia magnetiko nuklearra, EMN-$^{1}$H, hidrogeno ezberdinen ingurua eta proportzioa ezagutzeko.
- Iodometria, lotura bikoitzen kopurua zehazteko.
- Destilazio-kurbak, irakite-tenperaturen eboluzioa ezagutzeko.
- Gas-kromatografia, masa-espektroskopiarekin batera konposatu kimiko desberdinak identifikatzeko.

EHU biodiesela aurreko lerroetan aipaturiko teknika esperimentalekin karakterizatua izateaz gain, Intertek Bilbao Technology Centre laborategira bidali da ezaugarritze sakonago bat egiteko eta, bide batez, EN14214 europar arautegia betetzen duen jakiteko.

## *4.5. EMAITZAK ETA EZTABAIDA*

### *4.5.1. Analisi elementala*

Biodiesela eta gasolioa oso ondo bereizten dira euren osaera kimikoan. Gasolio fosilen % 30-35 hidrokarburo aromatikoak eta % 65-70 parafinak izango dira. Biodiesela, ordea, olioetatik datorrenez, metil esterrez osatua dago. Hauek 16-18 karbonoetako molekulak dira eta lotura bikoitz bat, bi edo hiru izan ditzakete.

Gasolioa oxigeno gabe osatuta dagoen bitartean, biodieselaren kasuan oxigenoa % 11 *p:p* izan daiteke. 4.9. taulan, zenbait erregai eta olioren analisi elementalaren emaitzak ikus ditzakegu.

| Erregaia | Gasolioa[1] | Koltza-olioa[1] | Koltzaren metil esterra[1] | Erabilitako olioa[2] |
|---|---|---|---|---|
| Osaera C:H:O | 86,6: 13,4: 0 | 77,6: 11,5: 10,9 | 77,2: 12,0: 10,8 | 77,5: 11,4: 11,1 |

[1]: Mittelbach, M. eta Remschmidt, C. (2007): *Biodielesel. El Manual Completo*, Ed. Martin Mittelbach, Austria.
[2]: Gure laborategian etxeko olioarekin buruturiko analisia.

**4.9. taula. Erregai eta olio batzuen analisi elementala.**

FAME laginen analisi elementala egin ostean lortutako emaitzak 4.10. taulak biltzen ditu. Emaitzen arabera, FAME guztien konposizioa antzekoa dela ikusi dugu, ondorioz ezin dugu jakin zein den FAME hauen olioen jatorria.

| Laginak | % C | % H | % O | % N |
|---|---|---|---|---|
| IK | 76,217 | 12,113 | 11,670 | <L.D |
| LE | 76,121 | 12,061 | 11,810 | <L.D |
| SS | 76,612 | 12,004 | 11,380 | <L.D |
| BI | 76,277 | 11,869 | 11,850 | <L.D |
| VI | 76,069 | 12,092 | 11,830 | <L.D |

L.D: % N = 0,1

**4.10. taula. FAME laginen analisi elementala.**

### *4.5.2. Azidotasun-indizea*

Jatorrizko olio-lagin bakoitzaren azido askeen kopurua balorazio bolumetriko baten bitartez neurtu da. Neurketa horretatik olioaren azidotasun-gradua (AGL) eta azidotasun-indizea (IA) eratorri dira. 4.11. taulan neurketen emaitzak ikus ditzakegu.

Bestalde, sintetizaturiko FAME laginen azidotasuna (TAN) neurtu da. TAN balioa azido koipetsuen gramo bat neutralizatzeko behar diren KOH mg-en bidez adierazten da. Neurketen emaitzak 4.11. taulak biltzen ditu. Europar arautegiaren limitea 0,5 mg KOH/g-tan ezarrita dago.

| Laginak | % AGL (olioa) | % IA (olioa) | TAN |
|---|---|---|---|
| IK | 0,28 | 0,55 | 0,11 |
| LE | 0,28 | 0,55 | 0,05 |
| SS | 1,11 | 2,20 | 0,25 |
| BI | 0,55 | 1,10 | 0,11 |
| VI | 0,56 | 1,12 | 0,17 |
| IK2 | 0,82 | 1,63 | 0,12 |
| EHU | - | - | 0,12 |

**4.11. taula. Olio-laginen ezaugarriak.**

Biodieselen azidotasun-indizea aldagai batzuen menpe dago. Alde batetik, biodiesela sintetizatzeko erabili den olioaren menpe dago, eta bestetik, ekoizpen-prozesuan azidotasuna igo daiteke azido mineralak katalizatzaile gisa erabiltzen direnean edo xaboien tratamendu azido baten ostean sortutako azido koipetsu askeengatik (baina gure kasuan katalisi basikoa erabiltzen da). Bukatzeko azido-tasuna igotzen da esterren loturen hidrolisia gertatzen denean ere; erreakzio horiek bioerregaia zahartzen denean gertatzen dira.

Azken hori kontuan harturik, hein handi batean azal daiteke sintetizaturiko biodieselen azidotasuna; hau da, olio azidoenetik (SS) eratorri den biodieselak dauka

izaera azido handiena. Gainerako erregaiek (IK, LE, BI, VI, IK2, EHU) azidotasun baxuagoa erakusten dute, euren jatorrizko olioaren izaerarekin bat. Hala ere, ezin da ahaztu lorturiko biodieselaren azidotasuna ez dagoela bakarrik jatorrizko olioaren azidotasunaren menpe, bestelako faktoreak kontuan hartu behar dira, hala nola aurretiaz aipatutakoak edo katalizatzaile-aztarnak.

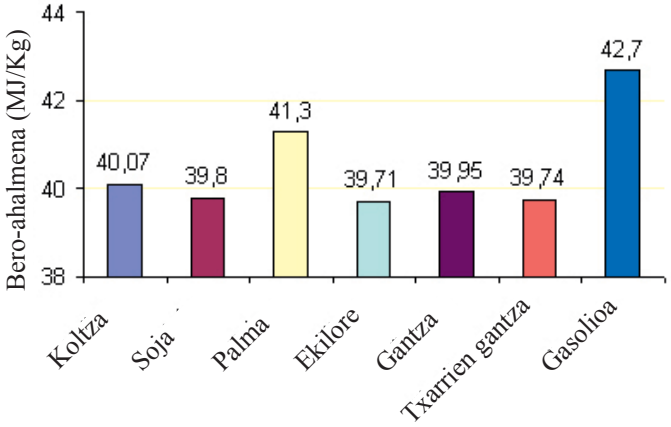
### *4.5.3. Bero-ahalmena*

Klopfenstein eta Walker (1983) ikertzaileek bero-ahalmenaren eta biodieselaren azido koipetsuen arteko erlazioa ikertu zuten. Euren ikerketetan zehaztu zuten metil ester aseen artean bero-ahalmena gramoko handitu egiten dela katearen luzera handitzen den heinean, eta azido koipetsu asegabeen metil esterrek aseek baino bero-ahalmen apur bat baxuagoa dutela (besteak beste hidrogeno-galeragatik). 4.12. taulan, ikertzaile horiek egindako azido koipetsuen metil esterren bero-ahalmenen arteko konparaketa aurkezten da. Datu horien arabera, komeni da kate luze eta asedun esterrak dituzten olioak aukeratzea, bero-ahalmena maximizatu nahi bada.

| **Karbono kopurua** | **C12:0** | **C14:0** | **C16:0** | **C18:0** | **C18:1** | **C18:2** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Bero-ahalmena MJ/kg | 37,0 | 38,3 | 39,6 | 40,3 | 38,9 | 38,7 |

**4.12. taula. Azido koipetsuen metil esterren bero-ahalmenak.**

Ezin dugu aipatzeke utzi, ezen metil esterrek gasolioarekin konparatuta beren osaketan oxigenoa dutela, ggb % 11, eta horregatik, haien bero-ahalmena baxuagoa denez (4.7. irudia), injekzioa, batzuetan, egokitu behar da bolumen eta masa unitateko diferentzia horiek sor ditzaketen energia-galerak konpentsatzeko.




**4.7. irudia. Jatorri desberdineko erregai FAME-en eta gasolioaren bero-ahalmenak.**

FAME laginen bero-ahalmenak Parr etxeko 1341 ponpa erabilita neurtu dira eta 4.13. taulak lortutako emaitzak biltzen ditu. Emaitzak oso antzekoak izan dira; beraz, ezin dugu metil esterren konposizioaren gaineko datu argirik ondorioztatu. Dena dela, 4.12. taulako datuak gogoan izanik, ematen du lan honetan prestatutako biodieselen bero-ahalmenak C16 eta C18 bitarteko metil esterrei dagokienarekin bat datozela.

Horrez gain, lortutako metil esterren nahasketa hauen bero-ahalmenak, (39-40 MJ/kg), 4.7. irudian erakusten diren olio edo gantz gordinetatik eratorritako bio-erregaien bero-ahalmenen antzekoak dira. Garrantzitsua da hori azpimarratzea, zeren, olio gordinen aurrean, erabilitako olioek ez baitute lortutako biodiesaleren bero-ahalmena murrizten.

| Laginak | IK | LE | SS | BI | VI | IK2 | EHU |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Bero-ahalmenak MJ/kg | 39,73 | 39,67 | 38,99 | 39,54 | 39,56 | 39,54 | 39,53 |

**4.13. taula. FAME laginen bero-ahalmenak.**

### *4.5.4. Dentsitatea*

Oro har, biodieselak gasolio fosilak baino dentsitate altuagoak izan ohi ditu. Europako arautegiaren arabera FAME estandarraren limitea honako hau izango litzateke: 860-900 kg/m$^3$ (15 ºC-an). Gasolio fosilaren europar arautegian, aldiz, ezarritako limitea apur bat txikiagoa da (820-845 kg/m$^3$, 15 ºC-an). Desberdintasun txiki horrek badu bere eragina bero-ahalmenean eta, ondorioz, erregai-kontsumoan, erregaiak bolumetrikoki saltzen dira.

| FAME | Dentsitatea | | Erreferentzia | FAME | Dentsitatea | | Erreferentzia |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | D (kg/m$^3$) | T (ºC) | | | D (kg/m$^3$) | T (ºC) | |
| C 6:0 | 889 | 15 | Liew eta beste (1992) | C 16:0 | 884 | 20 | Drake eta Spies (1935) |
| C 8:0 | 881 | 15 | Liew eta beste (1992) | C 18:0 | 852 | 38 | Bonhorst eta beste (1948) |
| C 10:0 | 876 | 15 | Liew eta beste (1992) | C 18:1 | 874 | 20 | Wheeler eta Riemenschneider (1939) |
| C 12:0 | 873 | 15 | Liew eta beste (1992) | C 18:2 | 894 | 15 | Treibs (1942) |
| C 14:0 | 867 | 20 | Norris eta Terry (1945) | C 18:3 | 904 | 15 | Treibs (1942) |

Mittelbach, M. eta Remschmidt, C. (2007): *Biodielesel. El Manual Completo*, Ed. Martin Mittelbach, Austria.

**4.14. taula. Aukeratutako azido koipetsuen metil esterren dentsitateak.**

FAME-en dentsitateak azido koipetsuen osaerarekiko eta purutasunarekiko mendekotasuna du. Alde batetik, dentsitateak gora egiten du katearen luzera txikitzen den heinean, baita lotura bikoitzen kopurua handitzean ere. 4.14. taulan aukeratutako azido koipetsu batzuen metil esterren dentsitateak bildu dira. Horrela azal daiteke dentsitatearen balio altuagoak izatea konposatu asegabeetan. Bestalde, metil esterren dentsitatea jaitsi daiteke pisu molekular baxuko ezpurutasunak daudenean, adibidez, metanola dagoenean.

Biodiesel-laginen dentsitateak piknometroaren bidez neurtu dira 15 ºC-ko tenperaturan. 4.15. taulak emaitzak biltzen ditu. Hasteko, esan beharra dago haien balioak europar arautegiak ezartzen dituen mugen barnean daudela. Neurketekin lortutako emaitzak oso antzekoak izan dira kasu guztietan (880-887 kg/m$^3$); beraz, ezin da ondorio argirik atera erregaiak osatzen dituzten metil esterren gainean edo haien ezberdintasunetan (kate-luzera, lotura bikoitzen kopurua). Halere, bero-ahalmenaren analisitik ondorioztatutakoa kontuan edukita, badirudi gure bioerregaien dentsitateek bat egiten dutela C16 eta C18 (lotura bikoitzekin) motako metil ester luzeei dagozkienekin.

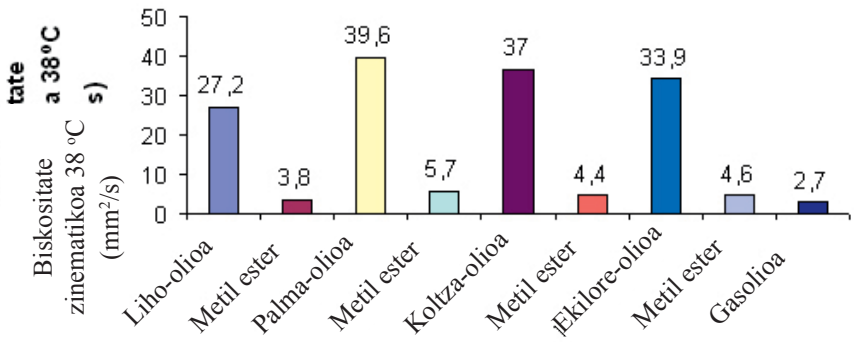
| Laginak | Dentsitatea (kg/m$^3$) |
|---|---|
| IK | 880 |
| LE | 886 |
| SS | 885 |
| BI | 885 |
| VI | 888 |
| IK2 | 886 |
| EHU | 887 |

**4.15. taula. FAME laginen dentsitateak 15 ºC-an neurtuak.**

### *4.5.5. Biskositatea*

Diesel motorretan olioak zuzenean erabili ahal izateko dagoen zailtasun handienetariko bat, hain zuzen ere, haien biskositate zinematiko altua da, diesel fosilarena baino hamar aldiz altuagoa, alegia. Biskositate altu horren ondorioz motorrak hondatu daitezke.

Transesterifikazioa da, hain zuzen ere, biskositate-arazo horren irtenbidea, transesterifikazioaren bidez lortzen diren metil ester horien biskositatea eta diesel fosilarena oso antzekoak baitira. 4.8. irudian landare-olio batzuen eta euren metil esterren biskositate-balioen diagrama ikus dezakegu (Srivastava eta Prassad, 2000). Jatorri desberdineko metil ester horien biskositatearen balioak maila berdinean agertzen dira.




**4.8. irudia. Zenbait olioren eta beraien metil esterren biskositate-balioak eta gasolioarenak.**

Biodieselaren biskositateak bere osaeran parte hartzen duten azidoekiko mendekotasuna du. Azido koipetsuaren zein alkoholaren katea handitzean biskositateak gora egiten du; baina lotura bikoitzen kopurua handitzen joan ahala biskositatea jaisten doa. Kateen luzera eta asegabetasun mailaren eragina biskositatean 4.16. taulan erakusten dira.

| Azido koipetsuen ester metilikoak | C14:0 | C16:0 | C18:0 | C18:1 | C18:2 | C18:3 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Biskositate zinematikoa 40 ºC ($mm^2/s$) | 3,24 | 4,32 | 5,56 | 4,45 | 3,64 | 3,27 |

Wörgetter eta beste, 1998.

**4.16. taula. Ester metiliko desberdinen biskositate zinematikoak.**

Lan honetan prestaturiko metil ester laginen biskositateak 40 ºC-an neurtu dira eta 4.17. taulan biltzen dira.

| Ester metiliko laginak | IK | LE | SS | BI | VI | IK2 | EHU |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Biskositate zinematikoa 40 ºC ($mm^2/s$) | 4,02 | 3,88 | 4,14 | 4,04 | 4,06 | – | 4,75 |

**4.17. taula. Ester metiliko laginen biskositate zinematikoak.**

Lortu ditugun emaitzen arabera, neurtutako biskositateak 3,8 eta 4,75 $mm^2/s$-ko tartean aurkitzen dira. Baliorik handiena EHU laginak aurkezten du (4,75 $mm^2/s$), baina horren arrazoia IK2 laginak EHU nahastean izan duen eragina da, IK2 laginaren biskositatea gainerakoena baino nabarmenki altuagoa baita (datu kuantitatiboa aurkezten ez bada ere). LE laginari dagokio balio minimoa (3,88 $mm^2/s$). Halere, IK2 lagina alde batera utziz, aipatu beharra dago laginen biskositate-balioen arteko aldeak erlatiboki txikiak direla, eta, hortaz, zaila da ondorio argirik lortzea konposizioaren inguruan.

### *4.5.6. Protoiaren erresonantzia magnetiko nuklearra*

Leioa (LE), Donostia (SS), Bilbo (BI), Gasteizko (VI) campusetako olioarekin eta ikasleek (IK) ekarritako olioarekin egindako biodiesel-laginen espektro guztietan ikusten den moduan, metil esterrak bakarrik agertzen dira. Hala, $OCH_3$ protoiei dagokien seinalea singlete moduan agertzen da 3,66 ppm-tan.

Metil linolenatoaren muturreko metil taldeari dagokion seinalea (triplete, 1,0-1,1 ppm) ez da agertzen.

Espektro guztietan $sp^3$ karbonoei loturiko protoiak 0,86-2,32 ppm tartean agertzen dira. Metil linoleatoaren lotura bikoitzen arteko metilen taldeari dagokion seinalea 2,75-2,78 ppm tartean agertzen da espektro guztietan. Lotura bikoitzen protoiak 5,32-5,39 ppm tartean agertzen dira. Horiek linoleato eta oleato nahasteari dagozkio.

Metil ester ezberdinen proportzioak lortzeko, $OCH_3$, linoleatoaren metilen taldea eta lotura bikoitzen hidrogenoen seinaleen integrazioan oinarritu gara. 4.18. taulan EMN-$^1$H espektroen bidez lorturiko proportzioak ikus ditzakegu.

| Metil esterra | IK (%) | IK (%) | IK (%) | IK (%) | IK (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| Aseak | 16,7 | 14,9 | 20,2 | 25,5 | 22,4 |
| Metil oleatoa | 56,4 | 24,5 | 46,1 | 26,2 | 22,7 |
| Metil linoleatoa | 26,9 | 60,6 | 33,7 | 48,3 | 54,9 |

**4.18. taula. EMN-$^1$H espektroen bidez lorturiko proportzioak.**

Datu horiek bat datoz CG-MS kromatogrametan lortutako balioekin. Kontuan izan behar dugu EMNaren detekzio-mugaren azpitik dauden konposatuen seinaleak ez direla agertzen. Beraz, CG-MSren bidez lortutako proportzioak fidagarriagoak dira.

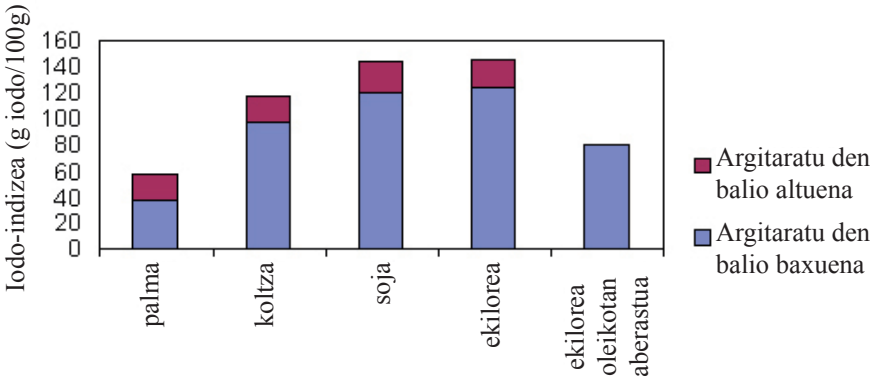
### *4.5.7. Iodo-indizea*

Iodo-indizearen neurketak biodieselek duten oxidatzeko joera adierazten du, eta metil esterrek duten asegabetasun mailaren kopurua ezagutzeko bidea ematen du. Iodo-indizea laginaren 100 gramorekin erreakzionatzen duten iodoaren gramoen bidez adierazten da. Biodieselaren europar arautegian ezarritako balioa $\leq$ 120 (g $I_2$/100 g) kantitateak mugatzen du. Bestalde, EN 14214 arautegiak ere azido linoleikoen metil ester eta azido koipetsu asegabeak (4 lotura bikoitza edo gehiago) dituzten konposatuen edukiera maximoa mugatzen du % 12 eta % 1 *p:p*, hurrenez hurren.

Motor-egileen arabera, iodo-indize altua duten erregaiak berotzen direnean polimerizatu egiten dira eta hondakinak uzten dituzte injekzio-muturtxoetan, uztaiaren pistoietan eta uztaien zirrikituetan (Koβmehl eta Heinrich,1997). Motorren

oliora iristen diren ester asegabeek pisu molekular altuko konposatuak eratzen dituzte eta, ondorioz, labaintasuna murrizten da (Schäfer eta beste, 1997). Iodo-indize, zetano-zenbaki eta biskositatearen arteko erlazioa dagoela aurkitu da: hiru parametro horiek jaisten dira asegabetasun maila igotzen denean.

Biodieselaren europar arautegiaren arabera, olio-iturri garrantzitsu batzuk kanpo geratzen dira, soja-olioa eta ekilore-olioa (4.9. irudia). Horien metil esterrak bioerregai moduan erabil daitezke biodiesel egokiekin edo gasolio fosilarekin nahastuta.




**4.9. irudia. Iodo-indizea, munduko biodiesel-produkzioan lau olio garrantzitsuentzat.**

Laginen iodo-indizea neurtzeko EN 14111 araua erabili da eta 4.19. taulak emaitzak biltzen ditu.

| Laginak | IK | LE | SS | BI | VI | IK2 | EHU |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Iodo-indizea (I,g/100 g) | 92,37 | 130,60 | 97,36 | 105,80 | 110,07 | 94,60 | 102,00 |

**4.19. taula. Laginen iodo-indizeak.**

Sintetizatu ditugun lagin guztien artean, Leioako lagina (LE) da 14214 arautegia betetzen ez duen bioerregai bakarra. Horrek esan nahi du bere osaeran dituen metil esterren asegabetasun maila altuagoa dela besteekin konparatuta. Jakinda Leioako Ostalaritza Eskolan jasotako olioaren konposizioa ekilore:oliba olio (4:1) dela eta oliba- eta ekilore-olioen konposizioa ezaguna dela, ondokoa ondoriozta dezakegu (4.20. taula):

| Gantz-azidoa | Ekilore-olioa | Oliba-olioa |
|---|---|---|
| Palmitikoa (C16:0) | 6 | 10–13 |
| Palmitoleikoa (C16:1) | – | 0,5–1 |
| Estearikoa (C18:0) | 3–5 | 2–3 |
| Oleikoa (C18:1) | 17–22 | 71–84 |
| Linoleikoa (C18:2) | 67–74 | 7–10 |
| Linolenikoa (C18:3) | – | 0,5–4 |
| Arakidikoa (C20:0) | – | 0,5 |
| *cis*-11-eikosenikoa (20:1) | – | 0,2 |
| Dokosanoikoa (C20:2) | 0,6 | – |

Mittelbach, M. eta Remschmidt, C. (2007): *Biodiesel. El Manual Completo*, Ed. Martin Mittelbach, Austria.

**4.20. taula. Ekilore-olioaren eta oliba-olioaren konposizioa.**

Ekilore-olioari dagokionez, bere osaera ondokoa da: konposatu nagusia (% 70) C18:2 da, hots, azido linoleikotik datorren glizeridoa; bigarrena (% 20) C18:1 da, azido oleikotik datorrena; hirugarrena (% 6) C16:0 da, azido palmitikotik datorrena, eta laugarrena (% 4) C18:0, azido estearikotik datorrena.

Oliba-olioari dagokionez, konposatu nagusia (% 77) C18:1 da, hots, azido oleikotik datorrena; bigarrena (% 12) C16:0 da, azido palmitikotik datorrena; hirugarrena (% 9) C18:2 da, azido linoleikotik datorrena, eta laugarrena (% 3) C18:0 da, azido estearikotik datorrena.

Triglizeridoetan parte hartzen duten azido koipetsu horiek transesterifikazioan metil esterrak emango dituztela eta euren proportzioak mantenduko direla suposatuta, metil esterren proportzioa honakoa izango litzateke:

| | | | |
|---|---|---|---|
| C18:2 | $70 \cdot 0{,}8 + 9 \cdot 0{,}2$ | Azido linoleikoa | % 58 |
| C18:1 | $20 \cdot 0{,}8 + 77 \cdot 0{,}2$ | Azido oleikoa | % 31 |
| C16:0 | $6 \cdot 0{,}8 + 12 \cdot 0{,}2$ | Azido palmitikoa | % 7 |
| C18:0 | $4 \cdot 0{,}8 + 3 \cdot 0{,}2$ | Azido estearikoa | % 4 |

Osaera horren arabera, Leioako (LE) laginaren iodo-indizea horren altua izateak zentzua dauka, linoleiko eta oleikotan aberatsa delako.

Kalkulu horien arabera Leioako laginaren (LE) iodo-indize teorikoa kalkulatu dezakegu 4.21. taula erabilita.

| Ester metilikoa | Konbertsio-faktorea | Ester metilikoa | Konbertsio-faktorea |
|---|---|---|---|
| C16:1 | 0,950 | C18:3 | 2,616 |
| C18:1 | 0,860 | C20:1 | 0,788 |
| C18:2 | 1,732 | C22:1 | 0,723 |

Mittelbach, M. eta Remschmidt, C. (2007): *Biodiesel. El Manual Completo*, Ed. Martin Mittelbach, Austria.

**4.21. taula. Konbertsio-faktoreak iodo-indizearen kalkulu teorikorako.**

Beraz, iodo-indize teorikoa honako hau izango litzateke:

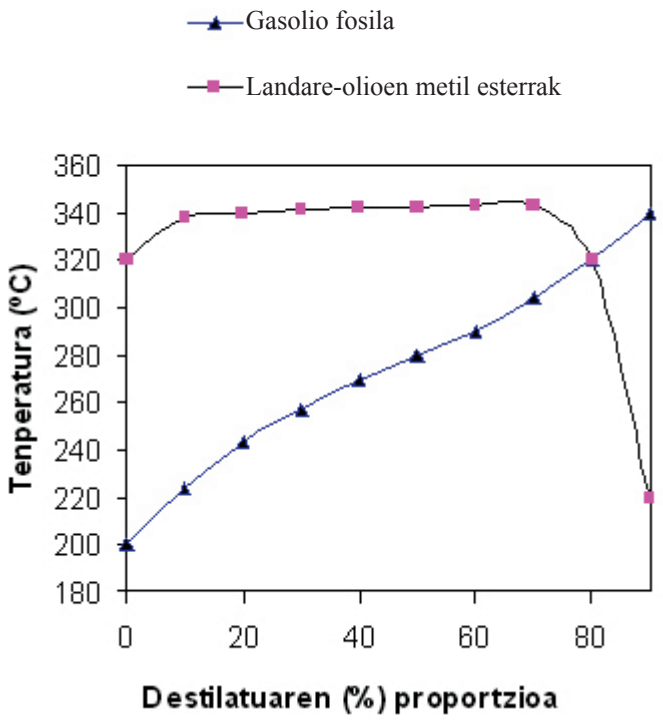
$$1{,}732 \cdot 58 + 0{,}860 \cdot 31 = 127{,}12$$

Kalkulaturiko iodo-indize teorikoa eta iodo-indize esperimentala (4.19. taula) oso antzekoak dira. Beraz, emaitza horren arabera, ekilore:oliba olioen proportzioa 4:1 dela egiaztatzen da.

Bukatzeko, azpimarragarria da lotura bikoitzen presentzia handiago hori LE laginean bat datorrela lagin horrek aurkezten duen biskositate baxuagoarekin (4.17. taula).

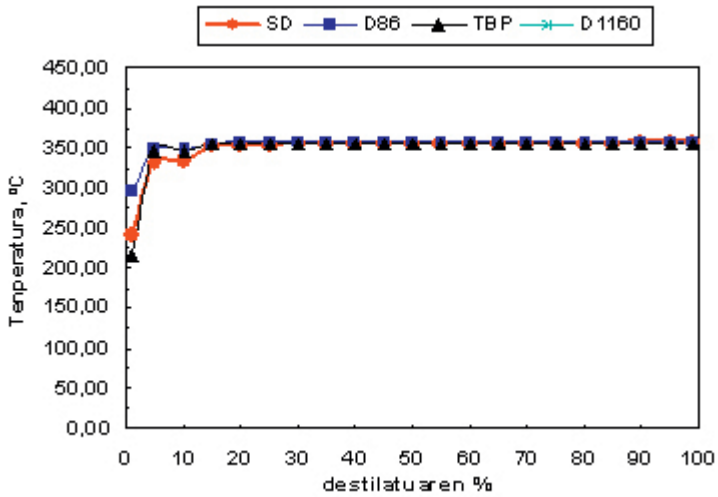
### *4.5.8. Destilazio-kurbak*

Biodiesel erregaiak antzeko irakite-tenperaturak dituzten C16 eta C18 metil esterrez osatuta daude; gasolio fosilak, aldiz, euren irakite-tenperaturan ondo desberdintzen diren hidrokarburo alifatiko eta aromatikoen nahaste konplexuak dira. Beraz, 4.10. irudian ikusten den bezala, gasolio fosilaren irakite-kurbek destilazio-tenperaturaren gehikuntza jarraitua erakusten dute, hasierako irakite-tenperatura 200 ºC-koa izanda. Bestalde, landare-olioen metil esterrak 300 ºC-tik gora irakiten hasten dira. Destilazioaren hasierako fasean, tenperatura igotzen da pisu molekular baxuko ezpurutasunen (metanol eta ura) erauzketagatik. Ondoren, destilazioak ia konstante jarraitzen du lerro zuzen bat irudikatuz; eta amaitzeko destilazioaren azken herenean, tenperatura jaisten da pirolisiaren hasiera dela-eta, non azido koipetsuen metil esterrak kate laburreko eta irakite-tenperatura baxuko konposatuak bilakatzen diren.

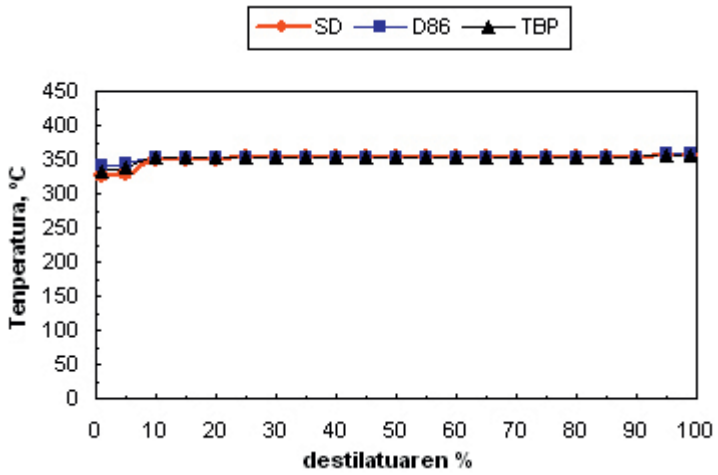



**4.10 irudia. Gasolio eta ester metilikoen destilazio-kurbak.**

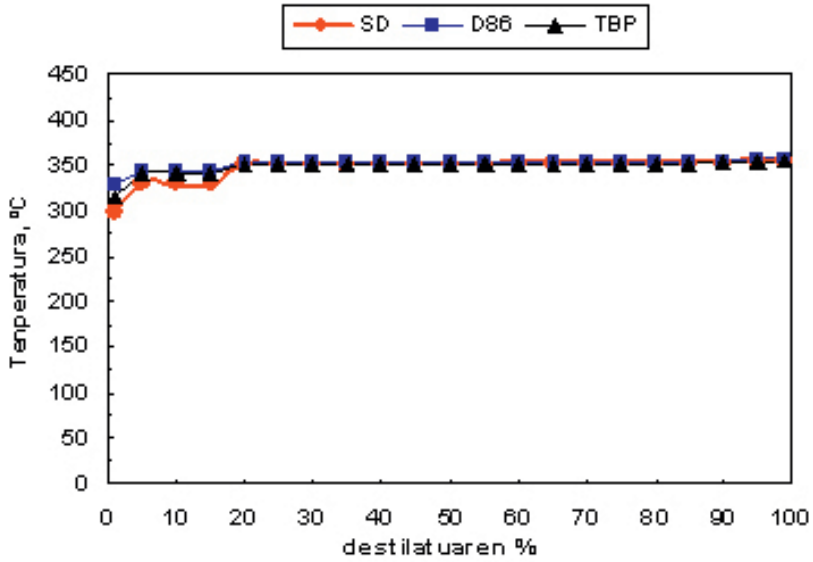
Ikertu diren FAME guztien kromatogramak 4.11. eta 4.17. irudietan ikus ditzakegu. Kurba guztiak oso antzekoak dira, IK2 laginaren irakite-kurba izan ezik. IK2 laginean destilazioaren amaieran irakite-tenperaturak gora egiten du ezpurutasunen presentzia agerian utziz. Irakite-tenperatura altuak direla-eta, ezpurutasun horiek PM handiagoko molekulak edo katalizatzailearekin eraturiko gatz metalorganikoak (adibidez, saponifikazioa) izan litezke. Halere, IK2 laginean antzemandako aparrek adierazten dutenez, ziurrenik, ezpurutasunak saponifikazioaren emaitza dira. Gainerako laginen destilazio-kurbak aztertuz, 4.10. irudian erakusten den ester metilikoen kurbarekin antzekotasun handia dagoela ikus dezakegu. Destilazioa 300 ºC inguruan hasi da, ondoren tenperatura igo da pisu molekular baxuko ezpurutasunen (metanol eta ura) erauzketagatik eta amaitzeko ia konstante jarraitzen du lerro zuzen bat irudikatuz.



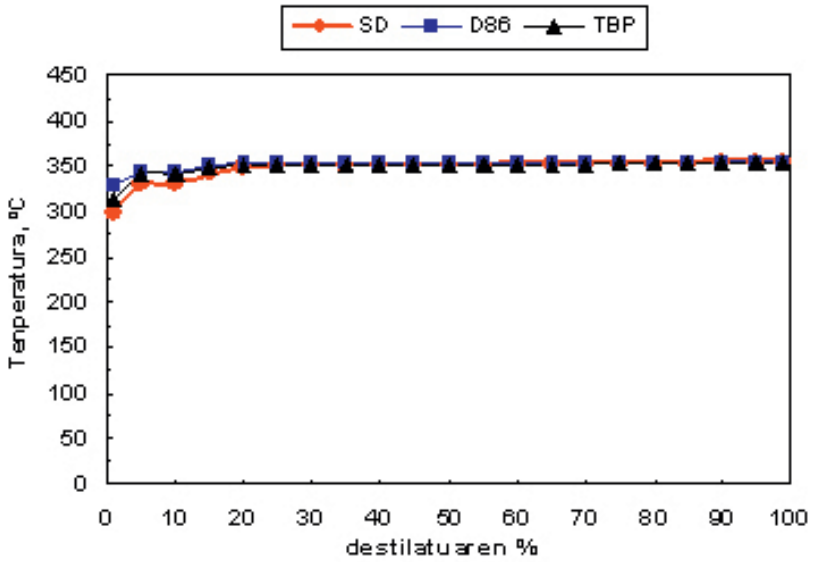

**4.11. irudia. IK destilazio-kurba.**



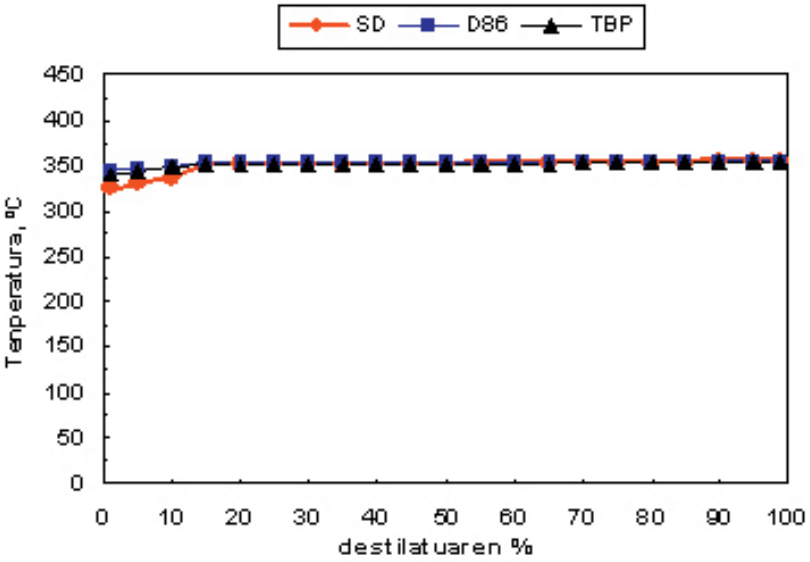

**4.12. irudia. LE destilazio-kurba.**



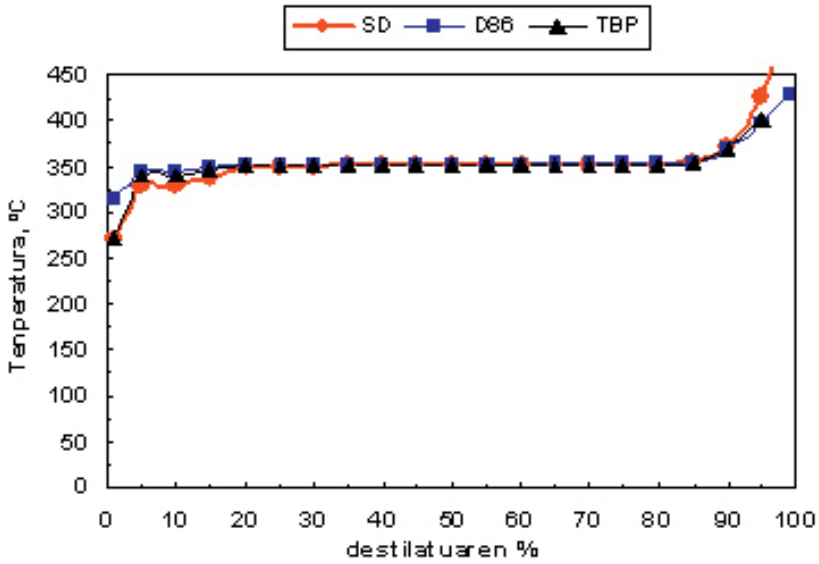

**4.13. irudia. SS destilazio-kurba.**



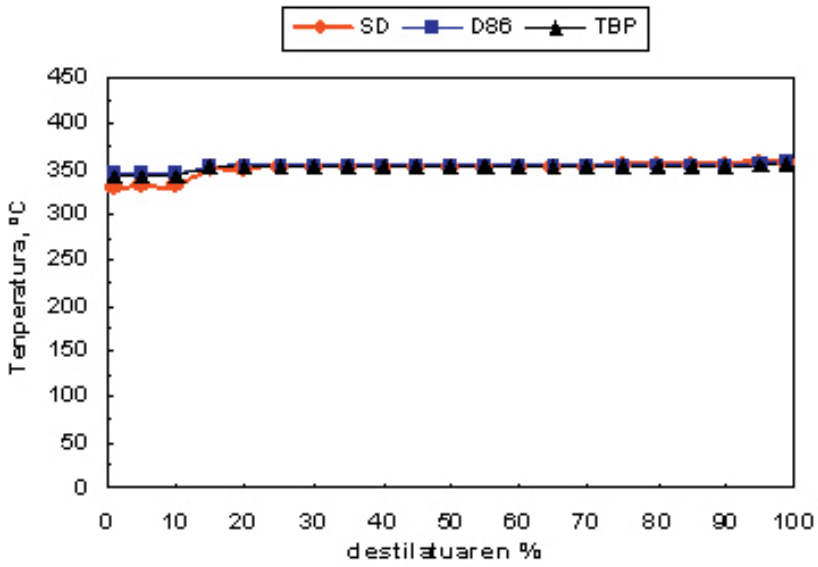

**4.14. irudia. BI destilazio-kurba.**




**4.15. irudia. VI destilazio-kurba.**




**4.16. irudia. IK2 destilazio-kurba.**




**4.17. irudia. EHU destilazio-kurba.**

### *4.5.9. Gas-kromatografia eta masa-espektroskopia*

Gas-kromatografiatik eratorritako datuetatik bioerregaien metil ester nagusien konposizioa estimatu da (4.22. taula). Bestelako espezieak detektatu badira ere, oso kopuru baxuetan agertzen dira eta, hortaz, emaitzen eztabaidan arbuiatu dira. Hasteko, lagin guztietan espezie nagusiak oleatoaren eta linoleatoaren metil esterrak nagusi direla esan daiteke, haien proportzioen baturak osotasunaren % 70-80 suposatzen baitu. Hori, EMN analisiaren bitartez ikusitakoarekin bat dator (4.18. taula), non metil oleato eta linoleatoa diren nagusi ere. Bestalde, proportzio baxuagoetan metil palmitatoa eta estereatoa (% 9-17 eta % 4-7, hurrenez hurren). Metil linoleatoaren hondarrak % 1 eta % 0,2 bitartean antzeman dira. Hortaz, erregai horien propietateen erantzule nagusiak metil oleatoak eta metil linoleatoak izango dira, metil palmitato eta esteratoen eragina arbuiatu ezin badaiteke ere.

Lotura bikoitzeko C18 metil esterra duen eta, kopuru urriagoan, C16 eta C18 metil ester aseak dituen nahaste horren propietateak bat datoz karakterizazioaren aurreko ataletan ikusitakoarekin (bero-ahalmena, biskositatea eta dentsitatea), non antzeko konposizio bat espero zen.

| Metil esterra | IK | LE | SS | BI | VI | IK2 | EHU |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Metil palmitatoa (C16:0) | 11,6 | 8,8 | 15,4 | 16,9 | 11,2 | 10,9 | 10,6 |
| Metil estearatoa (C18:0) | 5,2 | 6,6 | 6,4 | 6,2 | 6,2 | 4,0 | 4,3 |
| Metil oleatoa (C18:1) | 51,6 | 28,6 | 38,9 | 30,1 | 28,8 | 64,5 | 39,7 |
| Metil linoleatoa (C18:2) | 26,3 | 52 | 32,5 | 40,5 | 48,6 | 13,4 | 40,4 |
| Metil Linolenatoa (C18:3) | 0,5 | 0,2 | 0,5 | 0,2 | 0,3 | 0,9 | 1,0 |

**4.22. taula. Gure laginetan % pisutan lorturiko metil esterren proportzioak.**

Leioako laginaren gas-kromatografiaren neurketak erakusten dituen emaitzak (laginaren % 29 metil oleatoa izatea, eta % 52 metil linoleatoa) oso ondo doitzen dira jatorrizko olioaren konposiziotik (ekilore:oliba 4:1) espero daitekeen emaitzatik (pisuaren % 31 oleikoa izatea, eta % 58 linoleikoa).

Gas-kromatografiatik lortu ditugun metil esterren proportzioen arabera, iodo-indize teorikoaren kalkulua egin daiteke 4.22. taulan agertzen diren konbertsio-faktoreak erabilita. Iodo-indize teoriko horiek 4.23. taulak biltzen ditu. Lortu ditugun emaitza teorikoak eta esperimentalak (4.19.taula) antzekoak izan dira kasu gehienetan. Leioako (LE) laginean aurkitu da desberdintasunik nabarmenena.

| Laginak | IK | LE | SS | BI | VI | IK2 | EHU |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Iodo-indizea ($I_2$g/100g) | 90,80 | 115,18 | 91,13 | 96,55 | 109,73 | 81,03 | 106,73 |

**4.23. taula. Laginen iodo-indize teorikoak.**

### *4.5.10. EN 14214 europar araua betetzeko analisiak*

Biodiesel batek bioerregai modura erabiltzeko bete behar dituen propietateak EN 14214 europar arauak ezartzen ditu. EN 14214 araua betetzeko saioak, unitateak, metodoak, limiteak eta emaitzak 4.24. taulak biltzen ditu.

Propietate horien neurketa Intertek Bilbao Technology Centre laborategiak egin du. Sintetizatu ditugun FAME laginen nahasketaren ondorioz lortutako EHU laginaren analisia egin da.

Lortu ditugun emaitzen arabera, EHU FAMEak ez du araua betetzen, neurtu diren zenbait propietateren emaitzak limiteen artean ez daudelako. Honako hauek dira limiteetatik kanpo geratu diren propietateak: hondar karbonosoa, erabateko kutsadura, diglizerido eta triglizerido kopurua eta glizerina kopurua.

Hondar karbonosoa neurtzen da motorren muturtxoetan eta injektoreetan pilatzen diren hondarrak neurtzeko. Parametro horrek gasolio fosiletan ez dauka garrantzi handirik, baina biodieselarentzat parametro garrantzitsuenetarikoa da kontrolpean dauden beste zenbait propietaterekin zuzenean erlazionatuta dagoelako, esate baterako, glizerido kopuruarekin, xaboi- eta katalizatzaile-hondarrekin. Orobat, parametro horrek aldaketak jasaten ditu azido koipetsu poliasegabeen metil esterrak eta polimeroen kontzentrazioak altuak direnean.

Erabateko kutsadura ere, bakarrik da garrantzitsua FAME erregaientzat, zeren gasolio fosilak destilatzen direnean sustantzia solugaitzen kopurua jaisten baita. Biodiesel motako erregaien kasuan parametro horrek garrantzia dauka erregai horiek normalean ez direlako destilatzen eta geratzen diren sustantzia solugaitzek motorren filtroak oztopatzen dituztelako. Beraz, hondar karbonosoak eta erabateko kutsadurak, biek, motorren filtroak hondatzen dituztenez, haien emaitzak limiteen barnean egotea ezinbestekoa da biodiesela erregai gisa saltzeko.

Aurreko bi parametroak zuzenean erlazionatuta daude mono-, di- eta triglizerido eta glizerina kopuruarekin. Horien kontzentrazioa igotzen den heinean, hondar karbonoso eta erabateko kutsaduraren kontzentrazioa igotzen da.

EN 14214 arauak honako limiteak ezartzen ditu mono-, di- eta triglizeridoentzat: ≤ % 0,80, ≤ % 0,20 eta ≤ % 0,20 p/p. Beraz 4.24. taulan agertzen diren emaitzen arabera, diglizerido eta triglizeridoak limitetik kanpo daude % 0,89 eta % 2,5 emaitzekin. Glizerina kopuru osoaren limitea % 0,25 *p/p*-tan ezarrita dago (glizerina askearen eta mono, di- eta triglizeridoekin loturak dituen glizerinaren arteko batuketa) maximoa eta emaitza % 0,49 izan da. Glizerina askearekin gertatzen den moduan, glizeridoen kopurua ekoizpen-prozesuaren menpe dago. Bakarrik lor daitezke mono-, di- eta triglizeridoen kontzentrazio baxuak ekoizpen-prozesuan baldintza egokiak aukeratuz edo azken produktuaren destilazioa eginez (Mittelbach, 1996).

Azken analisi sorta honetan aztertutako parametroen artean, dentsitateak, biskositateak eta iodo-indizeak erakusten dituzten balioak geuk neurtutakoen antzekoak dira, desberdintasunak neurketen desbideratzearen barnean daudelarik. Alderik nabarmenena azidotasun-indizean antzematen da, non 0,4 eta 0,1 balioak neurtu diren Intertek laborategian eta gure laborategian, hurrenez hurren.

| Saioa | Unitateak | Metodoa | Emaitza | Limitea | Ziurgabetasuna |
|---|---|---|---|---|---|
| Ester kopurua | % *p:p* | UNE EN 14103/03 | 94,0 | 96,5 min | ±1,90 |
| Dentsitatea (15 ºC) | kg/m$^3$ | UNE EN 12185/99 | 885,7 | 860-900 | ±0,25 |
| Biskositatea (40 ºC) | mm$^2$/s | UNE EN 3104/99 | 4,762 | 3,50-5,00 | ±0,023 |
| Su-puntua | ºC | UNE EN 2719/03 | 164,0 | 101 min | solic |
| Sufre kopurua | mg/kg | UNE EN 20846/04 | 8,5 | 10,0 | ±1,05 |
| Hondar karbonosoa (% 10 desti) | % *p:p* | UNE EN 10370/96 | 0,5 | 0,30 max | ±0,1 |
| Zetano-zenbakia | – | UNE EN 15195/07 | 57,4 | 51,0 min | ±2,5 |
| Errauts sulfatatuak | % *p:p* | ISO 3987/94 | <0,005 | 0,02 max | solic |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Ura | mg/kg | UNE EN 12937/01 | 288 | 500 max | ±11 |
| Erabateko kutsadura | mg/kg | UNE EN 12662/08 | 140,3 | 24 max | ±14,8 |
| Karruskapena Cu (3 ordu 50 ºC) | Eskala | UNE EN 2160/99 | 1a | Clase 1 | N.A |
| Oxidazioari egonkortasuna (110 ºC) | Orduak | UNE EN 14112/03 | 1,5 | 6,0 min | ±1,41 |
| Azidotasun-indizea | mgKOH/g | UNE EN 14104/03 | 0,40 | 0,50 max | ±0,040 |
| Iodo-indizea | g/100g | UNE EN 14111/03 | 104 | 120 max | ±4,8 |
| Azido linolenikoaren metil esterrak | % *p:p* | UNE EN 14103/03 | 0,4 | 12,0 max | solic |
| Metil ester poliasegabeak | % *p:p* | – | <0,5 | 1 max | solic |
| Metanol kopurua | % *p:p* | UNE EN 14110/03 | 0,03 | 0,20 max | solic |
| Monoglizeridoen kopurua | % *p:p* | UNE EN 14105/03 | 0,33 | 0,80 max | solic |
| Diglizeridoen kopurua | % *p:p* | UNE EN 14105/03 | 0,89 | 0,20 max | solic |
| Triglizeridoen kopurua | % *p:p* | UNE EN 14105/03 | 2,5 | 0,20 max | solic |
| Glizerina askea | % *p:p* | UNE EN 14105/03 | 0,02 | 0,02 max | solic |
| Glizerina kopurua | % *p:p* | UNE EN 14105/03 | 0,49 | 0,25 max | solic |
| I. taldeko metalak (Na + K) | mg/kg | EN 14108/03 | 2,2 | 5,0 max | ±3 |
| II. taldeko metalak (Ca + Mg) | mg/kg | EN 14108/03 | 1,8 | 5,0 max | |
| Fosforo kopurua | mg/kg | EN 14107/03 | 0,3 | 4,0 max | |
| P.O.F:F | ºC | EN 116/99 | -3 | – | |

**4.24. taula. EHU FAME erregaiari egindako analisiak.**

## *4.6. ONDORIOAK*

Ondoren, laborategiko lan honetatik eratortzen diren ondorio nagusiak aurkezten dira:

Erabilitako olioa aurretratamendu sinple baten bitartez (iragazketa eta deshidratazioa) purifika daiteke, lehengai egokia lortuz biodieselaren prestaketarako.

Aurretrataturiko olio erabili hauek olio gordinekin lortzen diren erreakzioetekin eta zinetika konparagarriak dituzte.

Gainera olio erabilietatik lortzen den metil esterren nahasteak olio gordinetik eratorritakoak dituen antzeko propietateak erakusten ditu; hala nola bero-ahalmena, dentsitatea eta biskositatea.

Prestaturiko FAME hauek (metil esterren EHU nahastea) europar arautegian ezarritako parametro batzuk (hondar karbonosoa, erabateko kutsadura, diglizerido eta triglizerido kopurua eta glizerina kopurua) betetzen ez badituzte ere, haien erabilera ahalbidetzeko erregaien produkzioan erabilitako ohiko konponbideetara jo daiteke:

– Destilazioa: erregaien purifikazioan destilazio frakzionatuaren teknika aurreratuak erabil daitezke (adibidez petrolioaren industria) kalitate altuko produktuak lortzeko. Hortaz, teknika honen bitartez gure biodieselak aurkezten dituen ezpurutasunak (diglizerido, triglizerido, glizerina…) erraz elimina daitezke.

– Nahasketa beste biodiesel batzuekin: purutasun altuagoko metil esterrekin nahastuz, lortutako produktuaren propietateak hobetu eta ezpurutasunak diluituz arautegia betearaz daiteke.

– Aditibazioa: oro har, erregai guztiei aditiboak gehitzen zaizkie euren erreketa-propietateak hobetzeko (oktanajea, emisioak, biskositatea…). Hortaz, modu horretan hondar karbonosoa eta erabateko kutsadura balio egokietara murriztu daitezke, gure erregaiak arautegia bete dezan.

### *4.7. BIBLIOGRAFIA*

EN 14214. Automotive fuels- Fatty acid methyl esters (*FAME*) for diesel engines- Requirements and test methods. (July 2003).

Gerpen, J. V. (2005): "Biodiesel processing and production", *Fuel Processing Technology,* **86,** 1.097-1.107.

Klopfenstein, W. E. eta Walker, H. S. (1983): "Efficiencies of Various Esters of Fatty Acids as Diesel Fuels", *Journal of the American Oil Chemists Society,* **60,** 1.596-1.598.

Koβmehl, S. O. eta Heinrich, H. (1997): "The Automotive Industry´s View on the Standards for ´plant Oil-Based Fuels", in N. Martini eta J. Schell (ed.), *Plant Oils as Fuels. Present State of science and future Developments*, 18-28.

Ma, F. eta Hanna, M. A. (1999): "Biodiesel production: a review", *Bioresource Technology,* **70,** 1-15.

Mittelbach, M. eta Remschmidt, C. (2007): *Biodielesel. El Manual Completo,* Ed. Martin Mittelbach, Austria.

Schäfer, A. (1997): "Vegetable Oil Fatty Acid Methyl Esters as alternative Diesel Fuels for Commercial Vehicle Engines", in N. Martini eta J. Schneee (ed.), *Plant Oils as Fuels. Present State of science and future Developments,*

Proceedings of the Symposium held in Potsdam, February 16-18, Germany; Springer Verlag, Berlin (1998), 29-46.

Srivastava, A. eta Prassad, R. (2000): "Triglycerides- based diesel fuels", *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* **4,** 111-133.

Howarth, R. W.; Bringezu, S. eta Persic, A. (2009): *Biofuels and environmental impacts. Scientific análisis and inplications for sustainability,* Scope. Unep. Polycy Briefs, UNESCO.

Wang, Y.; Ou, S.; Liu, P.; Xue, F. eta Tang, S. (2006): "Comparison of two different processes to synthesize biodiesel by waste cooking oil", *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical,* **252,** 107-112.

Wörgetter, M.; Prankl, H. eta Rathbauer, J. (1998): Eigenschaften von Biodiesel. Fachtagung Biodiesel. Optimierungspotentiale und Umwelteffekte. Landbauforschung Völkenrode. Sonderheft 190, 31-43.

# 5. Olio erabiliaren balantzeak biribiltzen eta ixten

## *5.1. KALKULU MEGAMAKROSKOPIKOAK*

UPV/EHU eta UNESCO Katedrak finantzaturiko *Transesterifikazioak. Biodieselak* deituriko proiektuari esker, unibertsitateko jantokietan ekoizten diren olioen hondakinen kuantifikazioa eta beraien transesterifikazioa ikertu ditugu biodiesel bihurtzeko. Horrekin batera, alboko lerro batzuk jorratu behar izan ditugu, hala nola zenbat olio kontsumitzen dugun, zenbat olio ekoizten dugun hondakin bezala frijitzean behin eta berriro erabili ostean, norberak bere etxean ekoizten duen olio zikin horren zenbat litro amaituko den biltzaile batean, edota ur-hondakinen araztegietara zenbat olio iritsiko den.

Galdera horiei erantzuna ematen saiatuko gara hurrengo lerroetan, hain zuzen ere ANQUEk —Integral water Cycle: Present and Future. "A Shared Commitment" Oviedon 2010-VI-13-16 bitartean— antolaturiko kongresuan aurkeztu genuenaren euskarazko bertsio honetan (Mijangos *et al*., 2010b).

## *5.2. OLIO ERABILIA HONDAKIN BAT DA*

Olioak oinarrizko elikagaiak dira, oso erabiliak gure elikaduran. Izatez, kimikoki ester glizeridoak dira eta frijitze-prozesuetan lortzen diren tenperatura altuen ondorioz, eta elikagaiek beren baitan duten ur-edukiaren ondorioz ere, frijitze-prozesuetan, olioa aldatu gabe gauzatzen badira, olio hauen propietate kimiko fisiko organikoak aldatzen direla behatua izan da (Mittelbach eta Remschmidt, 2007), hidrolisia eta erradikal askeen agerpena direla-eta. Behin olioa degradatu eta gero, aldatu behar izango dugu eta, orduan, hondakin bihurtzen da. Legislazioak (OMAM 304/2002) dio erabilitako landare-olio hauek LER 200125 motakoak direla.

Hiri Hondakinen Plan Nazionalak (PNRU, Plan Nacional de Residuos Urbanos) honelaxe dio:

> Por su especial relevancia y posibilidades de reciclaje, el Plan prevé la recogida selectiva de los aceites y grasas vegetales de origen domestico e industrial asimilado, mediante la dotación de contenedores específicos, campañas de sensibilización y establecimiento de acuerdos con empresas especializadas en su tratamiento y reciclaje. El Plan se fija como objetivo alcanzar una tasa de recogida y reciclado de los residuos de aceites vegetales del 50% antes del 31 de diciembre del año 2002 y del 80% antes del 31 de diciembre del año 2006. Como ya se ha indicado, se impulsará que los residuos específicos domésticos, por sus singulares características, se separen del resto

> de residuos urbanos para proceder a su posterior reciclaje o valoración, a través de sistemas tales como, Puntos Limpios, recogidas especiales puerta a puerta, acuerdos voluntarios….. La ley 10/98 de residuos, establece: el poseedor de los residuos estará obligado, mientras se encuentran en su poder, a mantenerlos en condiciones adecuadas de higiene y seguridad.

Lege berak bere 11. artikuluan dio: «…Los poseedores de residuos estarán obligados, siempre que no procedan a gestionarlos por sí mismos, a entregarlos a un gestor de residuos, para su valorización o eliminación...».

Espainian kontsumitzen den olioaren kantitatea pertsonako eta urteko nahiko datu zehatza da, eta iturri desberdinak kontsultatu arren, antzeko kantitateak aipatzen dira. INEk[2] 2009. urtean egindako kontsulta batean dio olioaren etxeko kontsumoa 2005-2006an eta pertsonako 12,9 L oliba-olio + 4,3 L bestelako olio (ekilore, soja...) izan zela. Bizkaian olio erabiliaren bilketaz arduratzen den Rafrinor[3] enpresak diosku urteko olioaren kontsumoa pertsonako 20 L dela eta horren % 25a HORECAn (Hotel, REstaurante, CAtering) izeneko zerbitzuetan egiten dela, beraz, etxeko kontsumoa hauxe da: 20 L x 0,75 = 15 L. Associació Catalana de Biodiesel[4] delakoak antolaturiko IV. Nazioarteko Jardunaldietan aditzera eman zuen datu hori eta berriz pertsonako 20 litro urtean dela jakin genuen.

HORECA hauek ekoizten duten UCO (Used Cooking Oil), hots, frijitzeko olio erabilia, baimendutako gestore batek batzen du, hori egitera behartuta baitaude. Ostera, kontsumo domestikoan deitzen den horretan ez dago horrelako agindurik eta izugarrizko diferentziak daude bilketaren orduan. Gaur egun, HORECA esparru horretan olioaren bilketa ia osorik gauzatzen den bitartean, etxeko bilketari buruzkoa lotsatzeko modukoa izan daiteke.

Kontsumituriko olioaren kantitate osotik zenbat olio ekoizten dugun hondakin bezala esatea askoz zailagoa da edo sakabanatuago dago. Datu hau kuantifikatu ahal izateko, INEkoei aurreko galdera hori luzatu genien eta emandako erantzunarekin jabetu ahal izan ginen olioaren bilketa benetako arazo bat zela: «Te hacemos saber que nuestra encuesta de recogida y tratamiento de residuos no llega al nivel de desagregación por categorías de residuos que permitiría suministrar el dato requerido (aceite vegetal utilizado). Nuestras encuestas tampoco permiten reflejar el desglose por puntos de recogida. Lamentablemente no podemos dar respuesta a esta petición». Berriz, Associació Catalana de Biodiesel (ACB) elkartekoei galdetu genien ea honen inguruan datu ezagunen bat zeukaten eta IV. Topaketa horietan Laura Talens Peiró-k aurkezturiko ponentziara eraman gintuzten: *El potencial d'oli*

2. INE, Instituto Nacional de Estadística. Area de Atención a Usuarios. Paseo de la Castellana, 183. 28071 Madril [usuinfor@ine.es].

3. Rafinor SL. Recogida y reciclaje de Aceites Vegetales Usados. Avda. de Bilbao s/n. Polígono Granada. 48530 Ortuella (Bizkaia) [rafinor@rafinor.com].

4. Asociación Catalana de Biodieseles. ACBiodiésel [acbiodiesel@uab.es], <wwwacbiodiesel.net>.

*reciclat per la producció de biodièsel* (Talus, Villalba eta Gabarell i Durany, 2008). Kataluniako zenbait udaletan egindako inkesten arabera, UCOren potentzialtasuna urteko kontsumoaren % 30 izan daiteke. Rafrinor enpresakoei galdetu diegunean, potentzialtasuna % 10-20 tartean koka daitekeela esan digute.

Gure UPV/EHUko jantokietan ekoizten den UCO edo frijitzeko olio erabiliaren kantitatea taula batean laburbildu dugu (4.4. atalean). Gure ikerkuntza-proiektuan olio horiek transesterifikatu egin ditugu eta lortutako FAMEak (Fatty Acid Methyl Ester) ezaugarritu eta haien propietateak ikertu ditugu, ea EN14214 arautegiak ezartzen dituen baldintza zorrotzak betetzen diren. Orain arte lortutako emaitzekin (Talus, Villalba eta Gabarell i Durany, 2008) ez dugula goitik behera arautegia betetzen sumatzen ari gara, baina horrek ez du esan nahi ezinezkoa egingo zaigunik. Gaur egun, ikasleek etxetik ekarritako eta jantokietatik lortutako laginen nahasteekin ari gara saioak egiten.

Gure UPV/EHU unibertsitateko ikasleen etxeetan norberak ekoizten duen olio erabiliaren kantitatea jakin ahal izateko, gure irakasgaietako ikasleei eskatu genien etxean denbora-tarte jakin batean biltzen duten frijitzeko olio erabilia gure laborategira ekartzeko eta esan genien ekarritako $cm^3$ olio horiek transesterifikatuko genituela eta etxera eramango zituztela baina $cm^3$ biodiesel bihurtuta, hain zuzen ere transesterifikazioaren etekina % 100 delako eta gutxi gorabehera hainbeste $cm^3$ oliotik hainbeste $cm^3$ biodiesel lortzen baitira (3.1. erreakzioaren irudia). Horri esker eta hiru taldetan egindako froga honekin ondorioztatu ahal izan dugu ezen ekoizten dugun UCOren kantitatea etxeko kontsumoaren % 10a dela, edo berdina dena, 4,5 ± 0,5 $cm^3$ pertsonako eta eguneko. Ikusi ondoko taulan parte-hartzea eta abar.

| | **G-1** | **G-2** | **G-3** |
|---|---|---|---|
| **Ikasle kopurua** | 17 | 5 | 9 |
| **Kantitatea/ mL** | 2900 | 2300 | 1850 |
| **Etxeko bizilagunak** | 65 | 20 | 34 |

Normalizatua 15 egunetan: 4,5 mL olioaren hondakina, pertsona eta eguneko.

### *5.3. ZENBAT ERABILITAKO OLIO (UCO) BATZEN DUGU?*

Baldin eta zenbat olio kontsumitzen dugun eta zenbat olio hondakin bezala ekoizten dugun badakigu, ez da zaila izan behar zenbat batzen dugun determinatzea. Baina berriz ere arazo batzuk agertzen zaizkigu, datu hauek oso berriak baitira, olio erabilia batzeko hainbat prozedura daudelako eta ziurgabetasun handi-handia dagoelako. Dena dela, saiatuko gara datu batzuk plazaratzen, zalantza handikoak izan arren.

ACBk duen web orrian eskegitako dokumentu batetik hartuta (Bosque, 2009), jakin ahal izan dugu ezen Bartzelona Hiriko Puntu Berdeetan 2008an 147,95 tona bildu zirela; urte berean kontsumituriko olioa, denetara, 20.959 Tm izan ziren, eta lehen esan dugun UCOren potentzialtasuna denetara 6.287,8 Tm. Beraz, bildutako olio erabiliaren portzentajea kontsumo osoarekiko % 0,70 izan da eta olio erabiliarekiko % 2,4. Horrek iradokitzen du bilketa ez dela oso eraginkorra izan, nolabait esatearren.

Jarraian, hurbilagoa dugun Bizkaiko udal batzuetan lorturiko olio erabiliaren bilketari buruzko datu batzuk emango ditugu, azpimarratuz datuen bilketa hau udalez udal egin behar izan dugula, ez baitago modurik datuok sistematikoki eskuratzeko. Ez dugu zerrenda luzerik eman nahi izan, udal batzuen adibideak ipini baino ez, datu orokor batzuk ateratzeko. Are gehiago, azken bolada honetan olio zikina batzeko prozedura asko aldatu egin da eta astean behin udaletxetik pasatzen zen kamioi edo furgoneta bat izatetik kontainer iraunkorrak ipintzera pasatu gara, horrek datuen bilketa sistematikoa eskaintzea guztiz ezinezkoa bihurtuz.

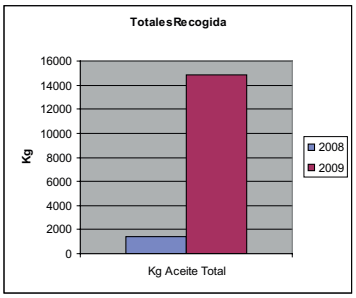
- Galdakao udalerrian[5] 2008ko martxotik abendura 1.532 L bildu ziren, astean zehar birritan kamioi batek bilduta, hau da, 153,2 L hilero. 2009tik aurrera bilketa hori kontainerretan egin da eta martxotik abuztura bildutako kantitatea 4.230 L-koa izan da, hots, 604 L hilero. Galdakao udalerrian 29.200 bizilagun daude, beraz, hilero 3.620 L olio zikina (UCO) bildu ahalko zela kalkula dezakegu; beraz, 2008an bildutakoaren portzentajea % 4 izan da. Kontainerrak ipini ostean bildutakoaren portzentajea, lehen esan dugunez, igo egin da eta denetara % 17 izan da, gutxi gorabehera bost biztanletik batek biltzen du.

- Eneritz Anakabek emandako hitzaldi batean[6] esan duenez, Azkoitian (Gipuzkoa) 4 kontainer berri ezarri dira eta 2009ko otsailean bildutako kantitatea 540 L izan ziren. Azkoitian 11.266 biztanle daudenez, bere UCOren potentzialtasuna 11.266 biztanle x 31 egun x 4 $cm^3$/pertsona.egun da, hots, 1.397 L hilero. Beraz % 38 bildu egin da.

5. Leire Diaz de Gereñu Etxebarria, Ingurugiro eta Garapen Iraunkorreko Teknikaria, Galdakaoko Udala, komunikazio pribatua.

6. Eneritz Anakabe, Zientzia eta Teknologia Fakultateko asteazken kulturalak, 2009.

- 2009ko Gabonetan argitaraturiko txosten berezi batean Portugaleteko Udalak ondokoa dio: 2005eko irailetik 2009ko irailera kamioi baten bidez 658 L bildu zuten hilero; horren ostean 12 kontainer ipini dira eta 2009ko urrian bildutako kantitatea 2.550 L-koa izan da, aurreko batez bestearena baino 3,9 aldiz gehiago. Portugaleten dagoen biztanleria kontuan hartuz, jakin badakigu kamioiaren bidez UCO teorikoaren % 10 biltzen zela eta kontainerrak ipini ostean portzentaje hori % 40raino igo egin dela.
- Sestaoko Udalak honako grafiko hau aditzera eman digu, non urte batetik bestera dagoen olioaren bilketa hamar bider handitu egin den, kamoien sistematik kontainer iraunkorrak jarri arte.




- Getxoko Udalak, birziklapenerako gaikako material-bilketa deituriko dokumentuan eta 2009ko balantzea egin ostean, ez du olioari buruzko daturik ematen, biltzen ez delako edo (ikusi ondoko irudia).

**Laburpena 2009 Resumen**

| | GUZTIRA TOTALES | HONDAKINAK GUZTIRA TOTAL RESIDUOS | |
|---|---|---|---|
| KG. HONDAKIN GETXON | 32.674.160 | 100%KG. | KG. RESIDUOS GETXO |
| KG. HONDAKIN EZ BIRZIKLATU | 25.510.929 | 77,22% | KG. RESIDUOS NO RECICLADOS |
| KG. HONDAKIN BIRZIKLAGARRI | 7.163.231 | 22,78% | KG. RESIDUOS RECICLABLES |
| PAPER BIRZIKLATU | 3.176.105 | 9,72% | PAPEL RECICLADO |
| BEIRA BIRZIKLATU | 1.647.495 | 5,04% | VIDRIO RECICLADO |
| FLUORESZENTE | 2.340 | 0,007% | FLUORESCENTES |
| PILA BIRZIKLATU | 6.000 | 0,018% | PILAS RECICLADAS |
| ONTZI | 987.070 | 3,02% | ENVASES |
| ARROPA | 249.541 | 0,76% | TEXTIL |
| OBRA-HONDAKIN | 516.380 | 1,58% | ESCOMBRO |
| HONDAKIN ELEKTRIKO ETA ELEKTRONIKO (HEE) | 30.100 | 0,95% | RAEES |
| HONDAKIN HANDI | 548.200 | 1,68% | VOLUMINOSOS |

**Hondakin EZ BIRZIKLATUAK / Residuos NO RECICLADOS**

| | Kg. | HONDAKINEN GUZTIZKO KOPURUAREKIKO % RESPECTO TOTAL RESIDUOS |
|---|---|---|
| 2008 | 28.493.960 | 80,05 |
| 2009 | 25.510.929 | 77.22 |

**Birziklatzearen konparaketa / Reciclaje comparación**

| | 2008 | 2009 | GEHIKUNTZA AUMENTO | |
|---|---|---|---|---|
| PAPERA | 3.278.820 | 3.176.105 | -3,13% | PAPEL |
| BEIRA | 1.636.945 | 1.647.495 | 0,64% | VIDRIO |
| PILAK | 5.680 | 6.000 | 5,63% | PILAS |
| FLUORESZENTEAK | 2.340 | 2.340 | 0,00% | FLUORESCENTES |
| ARROPA | 226.810 | 249.541 | 10,02% | TEXTIL |
| ONTZIAK | 947.820 | 987.070 | 4,14% | ENVASES |
| OBRA-HONDAKINAK | 495.720 | 516.380 | 100,00% | ESCOMBRO |
| HEE | 38.080 | 30.100 | -20,96% | RAEES |
| HONDAKIN HANDIAK | 505.300 | 548.200 | 100,00% | VOLUMINOSOS |
| GUZTIRA | 7.137.515 | 7.163.231 | 0,36% | TOTAL |

Birziklatu zure ohiturak
Eman bizi berri bat ontziei

Recicla tus hábitos
Dale una nueva vida a los envases

Getxo
UDALA · AYUNTAMIENTO
Ingurumena
Medio Ambiente

- Atal hau amaitzeko, Zientzia eta Teknologia Fakultatean gure ikerkuntza-taldeak 2010eko apirilean antolaturiko mahai-inguru batean Rafrinor-ek emandako datu batzuk zabalduko ditugu: gaur egun Rafrinor-ek 400 kontainer baino gehiago dauzka jarrita Bizkaiko 86 udalerritan, hau da, udalen % 77 eta biztanleriaren % 86.

Goian esan dugunarekin ondorio orokor bat atera genezake: olio erabiliaren bilketa asko hobetu egin da kamioiaren sistematik kontainer iraunkorren sistemara pasatzean. Kasu hauetan badirudi, azpimarratuz datu guztiz berriak direla eta ez daukagula urtean zeharreko eboluzioa egiterik, UCO olioaren bilketa % 30-40 izan daitekeela.

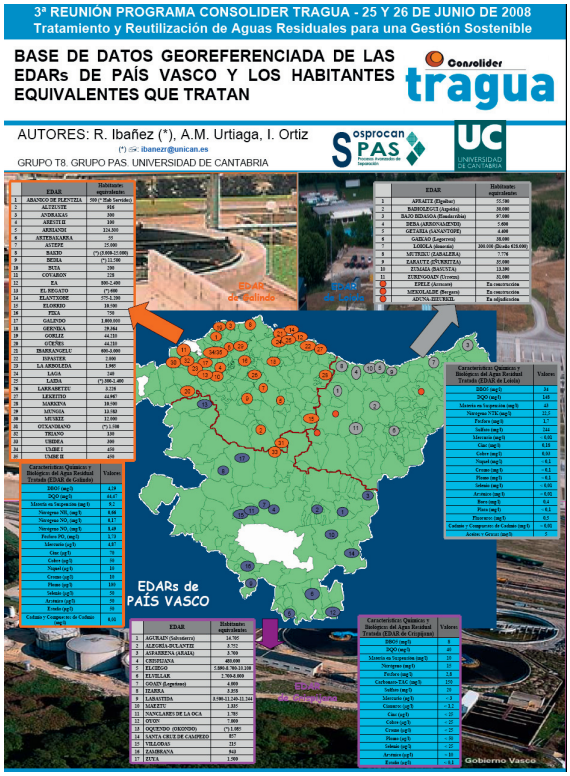
### *5.4. ETA BATZEN EZ DEN OLIOA?*

Galdera hori behin eta berriro etorri zaigu burura eta burutik ezin kendu, nahiz eta erantzuna guztiok buruan eduki: batzen ez den olioa harraskatik doa eta ur-araztegietara iristen da. Beraz, alboko arazo honi ekingo diogu hemendik aurrera.

Berriz ere, datu ezarekin egin dugu topo eta galdera honi Bartzelonako adibide horretan (Bosque, 2009) zer-nolako hurbilketa erabili duten aipatuko dugu abiapuntutzat: «Por tal de realizar los calculos de la contaminación por UCO en las aguas residuales que llegan a las EDAR del Llobregat y Besós, se ha considerado que el aceite vertido en la red de saneamineto de agua es el equivalente al potencial de recogida de UCO domestico en Barcelona».

Lan berberean aipatzen dute 2008. urtean EDAR batean olio eta gantzen purifikazioan gastaturiko batez besteko prezioa 231,00 €/Tm UCO izan dela. Beste alde batetik, kontuan hartzen badugu olio litro bakoitzak 1.000 L ur kutsatzeko ahalmena duela, bi datu horietan oinarrituta kalkulu batzuk egin ahal izango ditugu.

Kalkuluak Bizkaian egingo ditugu, hain zuzen ere gure fakultatea UPV/EHUko Bizkaiko campusean kokatuta baitago, ikasleekin egindako frogak Bizkaian gauzatu ditugulako eta Bizkaian dagoen ur-araztegi handienaren datuak erabili ditugulako, Galindoko araztegiarenak alegia. Ondoko irudian Bizkaian dauden ur-araztegien tamainak, biztanleak eta ezaugarriak ikus daitezke (Ibañez, Urtiaga eta Ortiz, 2008): bertan 1.000.000 bat biztanleren hondakin-urak garbitzen dituzte.



Gure fakultateko mahai-ingurua berriro hona ekarriz, Juango Aguirrek, Bizkaiko Ur Partzuergoaren ordezkariak, zera aipatu zigun: urtero Galindoko araztegira 3.717 Tm olio iristen direla eta bertako tratamenduaren ostean bakarrik 15 Tm irteten direla, hots, % 99,8 berreskuratzen dutela (beste gauza batzuekin batera nahastuta emultsio gisan).

Baina datu gehiago eman zituen mahai-inguru horretan. Esate baterako, Galindoko araztegira iristen den olio eta koipeen kontzentrazioa 17 mg/L ur dela eta irtetean 0,07 mg/L ur dela. Hau da, oso ondo garbituta.

Dakigunez, Galindoko ur-emaria 350.000 $m^3$ $H_2O$ /egun da . Beraz, ondoko kalkulua burutu ahal dugu.

$$350.000\ m^3/\text{egun} \times 1000\ L/m^3 \times 17.10^{-3}\ g\ \text{olio/L ur} \times 365\ \text{egun/urte} =$$
$$= 2171750000\ g\ \text{olio/urte} = 2172\ Tm\ \text{olio /urte}$$

Lehen esan dugunez, Galindoko ur-araztegira iristen den ura milioi bat biztanleri dagokie eta milioi horrek urte batean ekoizten duen frijitzeko olio erabiliaren kantitatea 1,6 L olio /urte izango da. Denetara:

$$1,6\ L\ \text{olio /pertsona.urte} \times 1.10^6\ \text{biztanle} = 1.600.000\ \text{litro}$$

Olioen dentsitateak gure laborategian neurtuak izan dira piknometriaren bidez eta olioaren izaeraren arabera diferentzia txikiak egon arren, olio guztien dentsitateak antzekoak direla jo dezakegu eta batez bestekoak ondoko balioa du: $\rho$ olio (20 $^oC$) ≈ 0,915 $g/cm^3$ .

Beraz, erabilitako olio guztiaren % 30 batu egin dela suposatuz (bai kamioien bidez bai kontainerren bidez), Galindoko ur-araztegira etxeko hondakin-urak biltzeko sistemaren bidez iristen den olioaren kantitatea, tonetan (Tm) adierazita, hau izango litzateke:

$$(1,6.10^6\ L/\text{urte} - 1,6.10^6 \times 0,3) \times 0,915\ kg/L = 1.025\ Tm\ \text{olio/urte}.$$

Mila tona olio horiek erreferentzia hartuta, esan dezakegu harraskatik botaz gero, Galindoko araztegian sortutako kostu ekonomiko gehiturikoa 230.000 €-koa izan dela (krisi-garaian gauden honetan ez da arbuiagarria) eta 1.000.000 $m^3$ ur (litro bat gora litro bat behera) kutsatu dituztela.

Ezin dugu aipatzeke utzi, ezen, egindako kalkulu guztiak olio erabiliaren masen balantzeak ixteko hurbilketa bat besterik ez direla. Gure kalkuluak, esan dugunez, hurbilketa batean oinarrituta daude: harraskatik ur-araztegira doa bildu ez dugun olioa, eta bide horretan xaboiekin, detergenteekin eta koipeekin nahastu eta emultsionatuko da (ikusi ondoko argazkiak).

Gure hurbilketa eta kalkuluek oso ondo azaltzen dute Krispiñako ur-araztegiari buruz (Gasteiz, Araba) Oviedon aurkezturiko ponentzian esan genuena: bertako ur-emaria 120.000 $m^3$ ur egun dela eta bildutako hondakin-olio emultsionatua 10.000 kg direla.

Gure ponentziari amaiera emateko orduan gogoratu nahiko genuke erabilitako olioa batu behar dugula eta kontainerretan jarri haren transesterifikazioari esker biodiesel bihur dadin. Harraskatik bota gabe, nahiz eta dirudienez jokabide hau oso arrunta den gure artean, zeinak Hiri Hondakinen Plan Nazionalak ezarritako helburuetatik urruntzen gaituen.

Bestetik, olio erabilien transesterifikazioa unibertsitatean bertan egingo balitz lortuko genukeen biodieselaren ezaugarriak CIEMATek bere txostenean (Aguirre, 2010) dioena baino hobeagoak izango lirateke (Mijangos, Arrasate, Anakabe eta Sanz, 2010c), bai energia fosilaren kontsumoan bai berotegi-efektua sortzen duten gasen murrizketan. Ez dago aitzakiarik gauzak ondo ez egiteko, beraz, erabilitako olioa batu eta transesterifikatu, besteak beste EDARek eskertuko dizue-eta.

### *5.5. ESKERRAK EMANEZ*


- Eskerrak eman nahi dizkiegu gure Zientzia eta Teknologia Fakultateko zein Udako Euskal Unibertsitateko ikasleei, beraien laguntza, animo eta etxetik ekarritako olioagatik; transesterifikazio ugari egin ditugu hitza bete nahian.
- Rafrinor-ekoei, guri emandako laguntzaz gain, kontainerra ezarri baitute fakultateko atarian (ikusi beheko argazkia).
- Bilbo Bizkaia Ur Partzuergoan lan egiten duen Juanjo Aguirreri, datu esanguratsuak eskaini dizkigulako.
- Euskal Herriko Unibertsitateari, UPV/EHU, eta Unesco Katedrari ikerkuntza hau diruz lagundu dutelako.

**Zientzi eta Teknologia Fakultateko atarian olio erabilia batzeko Rafrinor enpresak ipinitako kontainerra, 2010ko maiatzean.**

## *5.6. BIBLIOGRAFIA*

Aguirre, J. (2010): *¿Que podemos hacer en la ZTF a favor del Medio Ambiente? Biodiesels: Reciclando los aceites de Fritanga*, 2010eko maiatza, ZTFko mahai-ingurua.

Bosque García, S. (2009): *Aliñando la ciudad: del aceite de cocina al biodiesel del autobús. Una propuesta alternativa de movilidad urbana sostenible para Barcelona 2009*, Fundación CIRCE, Universidad de Zaragoza, 2009ko abenduaren 11.

Ibañez, R.; Urtiaga, A. M. eta Ortiz, I. (2008): *Base de datos georeferenciada de las EDARs del Pais Vasco y los habitantes equivalentes que trata*, 3ª reunión programa consolider Tragua, 2008ko ekaina.

Lechón, Y. *et al.* (2006): *Análisis del ciclo de vida de combustibles alternativos para el transporte, Fase II. Análisis del ciclo de vida comparativo del biodiésel y del diésel*, Ciemat.

Mijangos, F.; Arrasate, S.; Anakabe, E. eta Sanz, J. (2010a): *Ayudando a la ecologización del campus universitario de la UPV/EHU. Biodieselizacion de los aceites de fritanga de los comedores universitarios,* VII Congreso Internacional Enseñanza Superior Cuba, 2010ko otsaila.

Mijangos, F.; Arrasate, S.; Anakabe, E.; Bueno, G.; Alvarez, S.; Olivares, E. eta Sanz, J. (2010b): *University commitment in the UPV/EHU. More transesterification towards less oil flow in the wastewater treatment plan*, ANQUE, Oviedo.

Mijangos, F.; Olivares, E.; Arrasate, S.; Anakabe, E.; Bueno, G. eta Sanz, J. (2010c): Zientzia eta Teknologia Fakultateko II. Ikerkuntza Jardunaldiak (2010eko martxoaren 15,16 eta 17an).

Mittelbach, M. eta Remschmidt, C. (2007): *Biodielesel. El Manual Completo*, Ed. Martin Mittelbach, Austria.

Talens Peiró, L.; Villalba Méndez, Dr. G. eta Gabarell i Durany, Dr. X. (2008): *El potencial d'oli reciclat per la producció de biodièsel*, SosteniPra UAB-IRTA, ponencia realizada por la PhD candidate Laura Talens Peiró en las IV Jornadas Internacionales del Biodiésel el 12 de junio de 2008 organizado por ACBiodièsel.

# 6. Biodieselaren bizitza-zikloaren balioespena

## *6.1. SARRERA*

Jasangarria al da landare-olio erabilietatik biodiesela ekoiztea? Galdera mamitsu horri erantzuten saiatuko gara kapitulu honetan.

Horretarako, landare-olio erabilien (*Used Cooking Oil*, UCO) ingurumen-inpaktua eta energia-errentagarritasuna balioetsiko ditugu. Iraunkortasunaren arloan egon badago tresna metodologiko esanguratsu eta baliagarri bat adierazle horiek balioesteko: bizitza-zikloaren balioespena (*Life Cycle Assessment*, LCA). Azken bi hamarkadetan garatua, bizitza-zikloaren balioespenak prozesu, produktu edo zerbitzu baten ingurumen-inpaktuak zehaztu eta neurtzen ditu, ekoizpenetik azken erabilera eta deuseztatzeraino. LCA zer den, eta bere metodologia nola aplikatzen den azaltzen hasiko dugu kapitulua. Izan ere, hainbat ikertzailek jada UCOren bizitza-zikloaren balioespena egin dute, eta horietan oinarrituko gara gure analisia egiteko. Zehatz-mehatz, bi izango dira gure iturri nagusiak. Alde batetik, Martin Mittelbach Alemaniako ikertzaileak 2004an eskuliburu interesgarri bat argitaratu zuen Claudia Remschmidt lankidearekin batera (*Biodiesel: The Comprehensive Handbook,* 2004), non eta bioerregaien inguruko informazio anitz bildu zuten. Beste alde batetik, Espainiako Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (Ciemat) ikerketa-zentroak 2006an beste txosten oso baliagarri bat argitaratu zuen (Lechón *et al.,*2006), Euskal Herrian gaur egun ekoizten ari diren bioerregaien ekoizpenari buruzko datu eta informazio ugari bilduz. Bi txosten horiek emandako informazio guztia oinarri eta erreferentziatzat hartuta, kapitulu honetan zehaztuko dugu zein izan litekeen landare-olio erabilietatik transesterifikatutako biodieselaren ingurumen-inpaktua eta errentagarritasun energetikoa, olio-erabiliak EHUn bertan bildu eta garbituko balira, eta unibertsitatean bertan transesterifikatuko balira. Balioespen horiek jada beste txostenetan emandako datuak pixka bat doitzea eskatuko dute, ikusiko denez, egindako analisiak gure errealitatera moldatzeko.

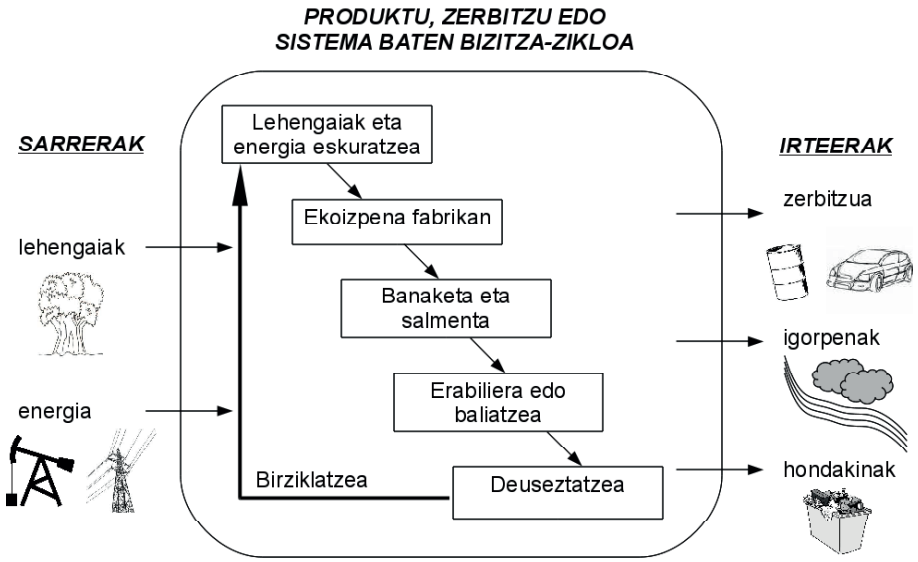
Bioerregaien errentagarritasun energetikoa, eta azken batean iraunkortasuna, gai oso eztabaidatua da, bai komunikabide arruntetan, baita komunitate akademikoan ere, ikusiko denez. Geu ere sartuko gara tirabira horretan, azken eztabaida publikoen emaitzak jasoz eta EHUn bertan transesterifikatutako biodieselaren ekarpena zehaztuz eta besteekin erkatuz.

Baina lehenengo eta behin, has gaitezen azaltzen LCA zer den.

## *6.2. ZER DA BIZITZA-ZIKLOAREN BALIOESPENA (LIFE CYCLE ASSESSMENT, LCA)?*

Bizitza-zikloaren balioespena tresna metodologiko bat da, produktu, prozesu edo sistema batek bere bizitza osoan zehar —lehengaiak eskuratzen direnetik, produktu, prozesu edo sistemaren bizitza amaitu arte— ingurumenean duen inpaktua neurtzeko.

Bizitza-zikloaren balioespenak ikuspegi holistiko bat izaten du. Horren arabera, produktu batek ingurumenean sortzen dituen inpaktuak aztertzeko ez da nahikoa produktu horren azken kontsumoa aztertzea. Ikuspegi holistikoak eskatzen du produktu horren bizitza-ziklo osoa aztertzea: hura ekoizteko behar diren lehengaiak eta energia eskuratzeko prozesuetatik hasita, produktua jada erabili edo kontsumitu denean hura deuseztatu edota birziklatu arte, tartean ekoizpen-prozesu eta garraio-behar guztiak kontuan hartuta. Produktu, zerbitzu edo sistema baten bizitza-zikloaren diagrama 6.1. irudian agertzen da. LCAn funtsezkoa da produktuaren bizitza-faseak ondo aztertu eta zehaztea. Horrela, errazagoa izango da ikertzen ari garen sistemaren energia- eta materia-sarrerak zehaztea, alde batetik, eta sistemaren irteerak ere determinatzea, bestetik: produktuak betetzen duen funtzioa edo zerbitzua, prozesu guztien igorpenak eta sortzen diren hondakinak.




**6.1. irudia. Produktu, zerbitzu edo sistema baten bizitza-zikloaren diagrama.**

Bizitza-zikloaren balioespenean lau fase desberdin daude. Lehenengoz, LCAren helburua eta ikertu nahi dugun sistemaren mugak eta sistema bera zehaztu behar dira. Bigarrenez, bizitza-zikloaren inbentarioaren balioespena burutu behar da. Horretan, sistemaren sarrera eta irteera guztiak identifikatu eta kuantifikatu behar dira. Hirugarrenez, ingurumen-inpaktuak balioesteko fasea dator. Bukatzeko, aurreko faseen emaitzen analisia eta interpretazioa egin behar dira. Bizitza-zikloaren balioespena prozesu dinamiko bat da, ez-lineala, eta normalean segidako hurbilketen bidez gauzatzen da; hau da, askotan, lehenengo emaitzak aztertzen direnean posible da sistemaren mugak berriro zehaztu behar izatea —sistemaren barruan prozesu gehiago sartuz—, edota bizitza-zikloaren inbentarioan elementu gehiago sartu —edo kendu— behar izatea.

Bizitza-zikloaren balioespenaren metodologia estandarizatuta dago, *International Organization for Standardization* (ISO) nazioarteko erakundearen eskutik. Erakunde horrek bi arau garatu ditu azken urteotan LCAren metodologia araupetzeko: ISO 14.040 eta ISO 14.044.

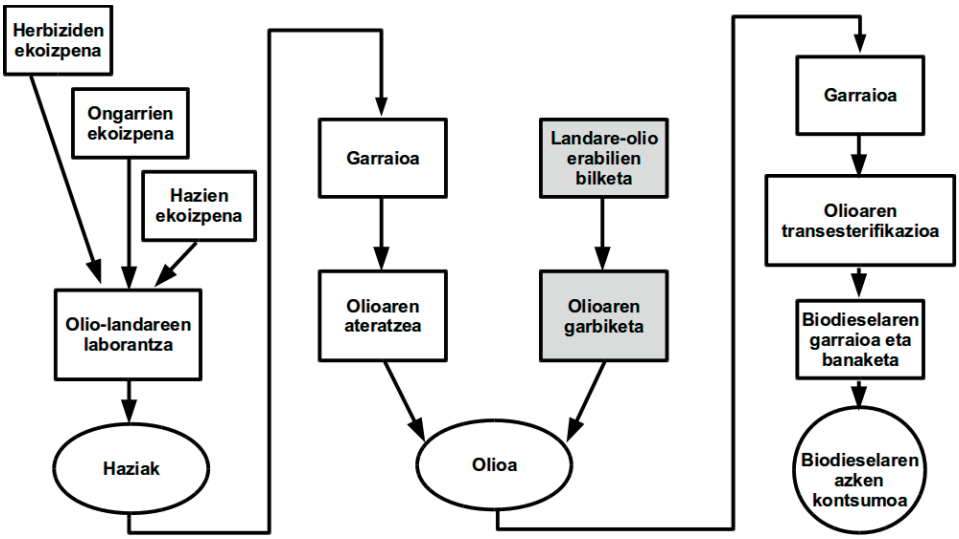
## *6.3. BIODIESELAREN BIZITZA-ZIKLOAREN DESKRIBAPENA*

Atal honetan gure ikerketaren helburuak finkatuko ditugu, eta ikertu nahi dugun sistemaren ezaugarri nagusiak eta mugak zehaztuko ditugu.

Gure helburu nagusia bikoitza da. Alde batetik, jakin nahi dugu zein izango litzatekeen biodieselaren ingurumen-inpaktua, berotegi-efektuko gasen ikuspegitik, biodiesela EHUn bertan ekoitziko balitz, landare-olio erabilien hondakinak jaso eta erabiliz. Beste alde batetik, jakin nahi dugu ea biodiesel hori energetikoki errentagarria izango litzatekeen. Bi elementuak, biodieselaren ingurumen-inpaktua eta errentagarritasun energetikoa, beste motatako biodieselen eta jatorri fosileko dieselaren ezaugarriekin erkatuko ditugu.

Baina, lehenengo eta behin, biodieselaren bizitza-ziklo osoa —ikertu nahi dugun sistema— deskribatu behar dugu. Biodieselaren ekoizpen-prozesu osoa 6.2. irudian ikus daiteke, hainbat azpiprozesu unitarioz osatuta.

Prozesuak bi fase nagusi ditu. Lehenengo fase nagusiaren emaitza olio garbiaren ekoizpena da. Irudian ikusten denez, bi aukera nagusi daude olioa lortzeko. Alde batetik, landare-olio erabilien hondakinak (Used Cooking Oil, UCO) erabil daitezke, geroago transesterifikatuko den olio garbia lortzeko —atzealde grisez, 6.2. irudian—. Beste aldetik, olio-landareen haziak —edo horiek erabiltzen dituzten prozesuetan sortutako hondakinak— prozesatuz sortutako olio gordinak ditugu —atzealde zuriz irudian—. Olio garbia behin lortuta, biodieselaren ekoizpenaren bigarren fase nagusian, olioaren transesterifikazioa burutzen da. Transesterifikazio-prozesua sakontasunez aurreko kapituluetan aztertu denez, atal honetan beste faseetan jarriko dugu arreta, hau da, olio garbia lortu arte burutu behar diren faseetan.




**6.2. irudia. Biodieselaren ekoizpen-prozesu osoa landare-olio erabilien hondakinak erabiliz (atzealde grisa) eta olio-landareen hazietatik (atzealde zuria), sinplifikatuta.**

Olio gordina olio-landareen hazietatik ekoizten denean, ekoizpen-prozesua nahiko luzea da. Hazietatik olioa ateratzeko, aldez aurretik haziak lehortu egiten dira, geroago birrintze eta prentsaketaren bidez olioa erdiesteko. Prozesu horien bizitza-zikloaren inbentarioan, sarrera eta irteera guztiak zehatz-mehatz erregistratu behar dira. Gorago erakutsi den 6.1. irudiari jarraituz, sarrerak izango dira prozesuaren lehengaiak —haziak— eta prozesuak behar duen energia —elektrizitatea, erregai fosilak eta abar—. Sistemaren irteerak dira lortutako olio garbia, baina baita prozesuan sortutako hondakinak eta era guztietako igorpenak ere. Sistema batzuetan lortutako produktuak bat baino gehiago izan daitezke —bi edo gehiago produktukide—; hazien birrinketan, adibidez, proteina-eduki oso altua duten irinak lortzen dira, abere-pentsuak eta bazkak fabrikatzeko oso egokiak direnak.

Sistema batean produktukide bat baino gehiago egoteak arazo bat sortzen du bizitza-zikloaren inbentarioa egiterakoan. Sistema horren sarrera eta irteera guztiak banatu eta esleitu behar dira produktukideen artean, zeren sistema batetik, adibidez, bi produktukide desberdin ateratzen baldin badira, ez baita justua kontsumitutako energia guztia edo sortutako hondakin eta igorpen guztiak produktukide bakar baten bizkarrean jartzea. Horrela, bizitza-zikloaren balioespenetan, **sistemaren sarrera eta irteeren esleipenaren arau**en arazoari aurre egin behar zaio; geroago itzuliko gara puntu horretara. Beste alde batetik, sarrera- eta irteera-fluxuen inbentarioa osatzerakoan, sistemaren tamaina erlatiboa —edo eskala— definitu behar da, hau da, energia- eta materia-fluxu guztiak zenbatu eta adierazi behar dira sistema osoaren produktukide baten kantitate zehatz bat erreferentziatzat hartuta. Produktukide horren

zenbateko zehatz horri **unitate funtzionala** deritzogu. Horren zehaztapenera gure analisian ere geroago itzuliko gara, lehenengo hazien ekoizpen-prozesua azaltzen bukatu behar baitugu.

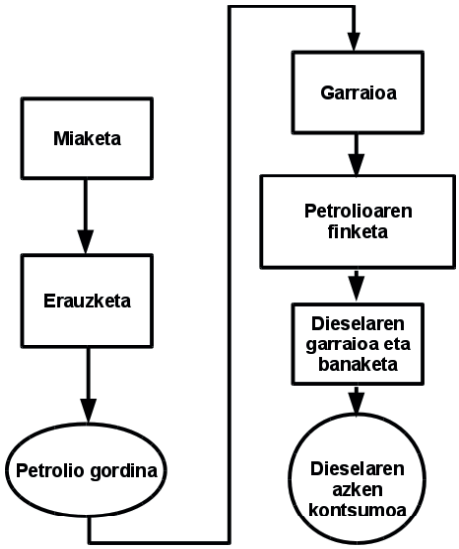
Olio garbia erdiesteko haziak lehortu, birrindu eta prentsatu behar dira, baina aldez aurretik haziak ere ekoitzi behar dira olio-landareen laborantzetan. Bizitza-zikloaren inbentarioan, prozesu horretan tartean sartzen diren energia- eta materia-sarrerak kontuan hartuko dira, hain zuzen ere laborantzan erabiliko diren herbizidak, ongarriak eta haziak ekoizteko azpiprozesuekin lotutakoak.

Olio garbia erdiesteko landare-olio erabilien hondakinak erabiltzen badira, prozesua askoz motzagoa da. Landare-olio erabilien bilketa egin eta gero, UCOren iragazpena eta dekantazioa besterik ez da burutu behar olio garbia lortzeko, hondakin solidoak eta ura olio garbitik bereiziz. UCOren erabileraren kasuan ere, energia- eta materia-sarreren inbentario zehatza egin behar da. Hala ere, kasu honetan UCOren energia- eta materia-kostuez ez dugu arduratu behar, landare-olio erabiliek hondakin-izaera baitute. Hondakin bat prozesu batean materia-sarrera moduan erabiltzen bada, orduan hondakina birziklatu egiten dela esaten dugu. Hondakina energia-sarrera moduan erabiltzen bada, berriz, balorizazio energetikoa deritzogu. Kasu hauetan baliorik ez daukan hondakin baten erabilera dagoenez, bizitza-zikloaren balioespenean horren balioa —energetikoa, materiala— hutsa da, eta hura bildu eta garbitzeko beharko diren energia eta materialak, bakarrik, kontuan hartu beharko ditugu bizitza-zikloaren inbentarioan.

Ikusten denez, biodieselaren bizitza-zikloak, transesterifikazio-prozesuaz gain, olio garbien eskuratzea ere kontuan hartu behar du. Landare-olio erabilien kasuan, azpiprozesu hori olio garbia hazietatik lortzen denean baino askoz motzagoa da, hondakin bat balorizatzen ari baita —landare-olio erabilia—.

Hala ere, biodieselaren bizitza-zikloaren deskribapena egiterakoan beste arazo bati aurre egin behar diogu, eta hauxe da: non jarri behar ditugu sistema osoaren mugak? Beste modu batez planteatuta: kontuan hartu behar al ditugu, adibidez, prozesu osoan zehar erabiltzen den makineria fabrikatzeko energia- eta materia-kostuak? Edota eskulanaren kostuak? Galdera hori klasikoa da bizitza-zikloaren balioespenetan, eta, adituen arabera, kostu gehigarri horiek, normalean, ez dira kontuan hartu behar, oso txikiak eta mespretxagarriak direlakoan.

Gure ikerketan, alde batetik, jatorri desberdina duten bi bioerregai moten bizitza-zikloaren balioespenak aztertu eta elkarrekin erkatuko ditugu —olio-landareen hazietatik lortutako biodiesela, eta UCOtik ekoitzitakoa—, eta bestetik, biak jatorri fosila duen dieselarekin ere. Diesel fosilaren ekoizpen-prozesu osoa 6.3. irudian ikus daiteke, eta horren bizitza-zikloaren balioespena ere bibliografian aurki daiteke.




**6.3. irudia. Jatorri fosileko erregai dieselaren ekoizpen-prozesu osoa.**

Aurreko bi irudietan ikusten denez, diesel eta biodieselaren bizitza-ziklo osoan zehar ugariak dira azpiproduktuak garraiatu eta banatzeko beharrak. Olio gordina, haziak eta olioak leku batetik bestera garraiatu behar dira, kasu bakoitzean garraio mota desberdinak erabiliz. UCOren kasuan ere, oso sakabanatuak egon daitezkeen hondakinak bildu behar dira, batere mespretxagarriak ez diren energia-kostuak eta ingurumen-inpaktuak kontuan hartzera behartuz. Diesel fosilaren kasuan ere, petrolioa urrundik oliobidez eta itsasontziz garraiatzen da. Garraio mota guztien energia-kontsumoak eta kostuak jada zehaztuta eta datu-baseetan jasota daude. Daturik garrantzitsuenak 6.1. taulan bildu ditugu.

| **Garraio mota** | **Energia-kostua (MJ/t·km)** | | |
|---|---|---|---|
| | [1] | [2] | [3] |
| 28 tonako kamioia | 3,57 | 1,8 | 2,6 |
| itsasontzia | 0,088 | 0,088 | 0,2 |
| trena (elektrikoa) | | 0,182 | 0,1 |
| trena (diesela) | 0,53 | 0,472 | 0,2 |
| kamioneta | 10 | 14,1 | - |
| hegazkina | - | - | 9,9-23 |
| oliobidea | - | - | 0,5 |

**6.1. taula. Garraio mota desberdinen energia-kostuak**
**(Iturriak: [1] Lechón *et al.*, 2006; [2] ESU, 2004; [3] Gilbert eta Perl, 2010).**

Hegazkinez egindako garraioa alde batera utzita, errepide bidezko garraioak (kamioiz eta kamionetaz) nabarmen gainditzen ditu beste garraio mota guztien energia-kostuak.

### *6.3.1. Unitate funtzionalaren zehaztapena*

Produktu baten bizitza-zikloaren inbentarioa egiterakoan, produktu horren zenbateko zehatz bat erreferentziatzat hartu behar dugu energia- eta materia-fluxu guztiak zenbatzerakoan. Zenbateko horri unitate funtzional deritzogu, eta gure kasuan —Ciemat-ek egindako azterketan oinarrituta— Ford Focus 1.80 Tdi 90CV autoak 1 km ibiltzeko behar duen erregaia izango da. Autoaren fabrikatzailearen arabera, autoaren erregaia diesel komertziala izanez gero —EN-590 motakoa—, kontsumoa 0,054 L/km da. Dieselaren dentsitatea (0,837 kg/L) eta energia-dentsitatea (41,62 MJ/kg) kontuan hartuta, unitate funtzionalaren energia 1,89 MJ da. Autoa mugiarazten duena erregaiaren eduki energetikoa da; horregatik, erregaia aldatuz gero, unitate funtzionala, oraindik, 1,89 MJ izango da. Bizitza-zikloaren balioespenean zehar, beti, 1,89 MJ-eko eduki energetikoa duen erregaia fabrikatzeko behar diren energia- eta materia-fluxuak izan behar ditugu buruan, bereziki inbentarioa egiterakoan.

Energia-fluxuen azterketari dagokionez, bizitza-zikloan bi energia mota hartu behar ditugu kontuan, ISO 14.040 arauaren arabera. Lehenengoa **prozesuko energia** da, hau da, prozesua martxan jartzeko kontsumitu behar den energia. Beste alde batetik, **energia basea** dugu, hau da, produktuaren eduki energetikoa osatzen duen energia-fluxua. Energia basea ez da inoiz fabrikazio-prozesuaren barruan kontsumitzen, baizik eta produktua bera kontsumitzen denean; erregaien kasuan, autoaren motorra martxan dagoenean. Gure kasuan, unitate funtzionalaren energia da energia basea.

Erregaien bizitza-zikloaren balioespenak erkatzen ari garenean, oso garrantzitsua da guztietan unitate funtzionala —energia basea— inbentario guztietan berdina izatea. Erregai bakoitzaren energia-dentsitatea desberdina izango denez —baita erregai baten fabrikazio-prozesuan zehar agertzen den azpiproduktu bakoitzarena ere—, funtsezkoa da, aldi berean, produktu bakoitzaren energia-dentsitatea zehatz-mehatz ezagutzea, pisuarekin erlazionatutako energia- eta materia-fluxuak ondo balioeste aldera —lehengai eta azpiproduktu guztien garraio-kontsumoak, kasu—. Hainbat erregai eta azpiprodukturen masa- eta energia-dentsitateak 6.2. taulan erakusten dira.

| Azpiproduktua | Energia-dentsitatea (MJ/kg) | Masa-dentsitatea (kg/L) | Unitate funtzionala (1,89 MJ) osatzeko behar den masa (g) |
|---|---|---|---|
| Diesel EN-590 | 41,85 | 0,835 | 45,16 |
| BD100A2 (UCOtik egindako biodiesela) | 37,70 | 0,887 | 50,13 |
| Landare-olio erabilia (garbitu baino lehen) | 29,025 | | 65,12 |
| Landare-olio erabili garbia (garbitu eta gero) | 36,649 | | 51,57 |
| BD100A1 (hazietatik eratorritako biodiesela) | 37,31 | 0,880 | 50,66 |
| Landare-olioak (koltza, palma, ekilore) | 35,83 | | 52,75 |

**6.2. taula. Masa- eta energia-dentsitateak (Iturria: Lechón *et al.,* 2006: 15-17).**

EN-590 jatorri fosileko dieselaren energia-dentsitatea BD100A1 biodieselarena (olio-landareen hazietatik eratorritakoa) eta BD100A2 biodieselarena (UCOtik egindakoa) baino handiagoa denez, unitate funtzionala osatzeko erregaiaren masa-kantitatea txikiagoa da. Aldi berean, UCOtik egindako biodieselaren kasuan, landare-olio erabiliaren energia-dentsitatea handiagoa da ura eta hondakinak garbitu ondoren.

## *6.4. BIODIESELAREN BIZITZA-ZIKLOAREN INBENTARIOA, BIBLIOGRAFIAN OINARRITUTA*

Biodieselaren bizitza-zikloaren inbentarioa egin nahi dugu, atentzioa nagusiki berotegi-efektuko gasen (BEG) isurpenetan eta energia-kontsumoetan jarriz. Hurrengo lerroetan Ciemat-ek ikertutako bizitza-zikloen ezaugarri nagusiak deskribatuko ditugu, horiek guztiz aplikagarriak baitira Euskal Herrian, geroago ikusiko denez.

### *6.4.1. BD100A1 motako biodieselaren ekoizpenaren ezaugarri nagusiak*

Mota honetako biodieselaren jatorrian olio-landareen haziak daude, honako ohiko proportzio hauekin Espainian, 2006an: ekilore, % 10 (Espainiako ekoizpena); palma, % 25 (Malaysia); soja, % 40 (AEB); eta koltza, % 25 (% 5 Espainiakoa, eta % 95 Frantziatik inportatutakoa). Haziak Bilboko portuan kokatuta dagoen enpresa batean (BUNGE) prozesatzen dira, olio gordinak erauzteko. Geroago, olioak Caparroson (Nafarroa) kokatutako biodiesel-planta batera (ACCIONA) garraiatzen dira kamioiz, han transesterifikazioa egiteko. Biodiesela behin fabrikatuta, inguruko gasolindegien artean banatzen da (Lechón *et al.,* 2006: 23-58).

### *6.4.2. BD100A2 motako biodieselaren ekoizpenaren ezaugarri nagusiak*

Mota honetako biodieselaren jatorrian, etxeetan eta zerbitzuetan giza kontsumorako landare-olio erabiliak daude. Olio erabili hauek ECOGRAS enpresak biltzen ditu, kamionetaz, Hego Euskal Herrian. Olioak bildutakoan Altsasun aurretratatzen dira, lehortu eta garbitzeko. Gero, Berantevillan (Araba) BIONOR enpresak duen biodiesel-plantara garraiatzen da kamioiz, han olio garbien transesterifikazioa burutzeko. Ekoitzitako biodiesela inguruko gasolindegien artean banatzen da, zuzenean (Lechón *et al.,* 2006: 58-70).

### *6.4.3. EN-590 dieselaren ekoizpenaren ezaugarri nagusiak*

EN-590 da Espainian kontsumitzen den ohiko diesela. Ciemat-en balioespenak CEPSA enpresak Algeciras-en duen findegiaren datuetatik abiatu du dieselaren bizitza-zikloaren balioespena. Horren arabera, petrolioaren ia erdia findegira Ekialde Hurbiletik dator —lurreko plataformetan erauzia—; eta beste laurden bat Errusiatik —itsas plataformetan erauzia lurrekoetan bezainbeste—. Algecirasko findegia FCC motakoa da (*Fluid Catalytic Cracking*). Diesel erregaiaren ekoizpen-prozesu osoa Ciemat-en txostenean deskribatuta dago (Lechón *et al.,* 2006: 70-85).

Hurrengo bi tauletan, Hego Euskal Herrian kontsumitzen diren diesel fosilaren (EN-590), landare-olio gordinetako biodieselaren (BD100A1) eta landare-olio erabilietako biodieselaren (BD100A2) bizitza-zikloetan zehar gertatzen diren kontsumoak (6.3. taula) eta BEGen isurpenak (6.4. taula) biltzen dira, Ciemat-ek 2006an argitaratutako txostenetik abiatuta. Kontsumoak eta BEGen isurpenak ekoizpen-fase desberdinen arabera zehaztuta daude. Nabarmentzekoa da 6.4. taulan jasotzen diren isurpenak ez direla bakarrik $CO_2$-renak, baizik eta berotegi-efektuko gasenak oro har; hau da, zenbateko horien barruan sartuta daude, ere bai, $N_2O$-renak (konbustioko motorretan oso zenbateko txikietan sortzen direnak, eta olio-landareen nekazaritzan erabilitako ongarri nitrogenodunen erabilerak sortzen dituenak) eta $CH_4$-renak (nagusiki nekazaritzan sorturikoak).

| MJ/km (energia fosila) | Diesel EN-950 | BD100A1 | BD100A2 |
|---|---|---|---|
| Petrolioaren erauzketa | 0,081 | | |
| Petrolioaren garraioa | 0,007 | | |
| Petrolioaren finketa | 2,002 | | |
| Haziaren ekoizpena | | 0,300 | |
| Haziaren garraioa | | 0,001 | |
| Olioaren erauzketa | | 0,308 | |
| Olioaren garraioa | | 0,087 | |
| Olioaren finketa | | 0,032 | |
| Olio gordinaren transesterifikazioa | | –0,260 | |
| UCOren bilketa | | | 0,070 |
| UCOren garbiketa | | | 0,021 |
| UCOren garraioa | | | 0,029 |
| UCOren transesterifikazioa | | | –0,078 |
| Erregaiaren azken banaketa | 0,065 | 0,021 | 0,044 |
| Guztira | 2,155 | 0,489 | 0,086 |

**6.3. taula. Jatorri fosileko energiaren kontsumoa bizitza-zikloan zehar, EN-590 diesel fosilerako eta BD100A1 eta BD100A2 biodieseletarako (Iturria: Lechón *et al.*, 2006: 83 eta 92).**

| g $CO_2$-eq/km | Diesel EN-950 | BD100A1 | BD100A2 |
|---|---|---|---|
| Petrolioaren erauzketa | 2,01 | | |
| Petrolioaren garraioa | 1,70 | | |
| Petrolioaren finketa | 8,33 | | |
| Haziaren ekoizpena | | 49,07 | |
| Haziaren garraioa | | –0,30 | |
| Olioaren erauzketa | | 19,80 | |
| Olioaren garraioa | | 6,16 | |
| Olioaren finketa | | 1,70 | |
| Olio gordinaren transesterifikazioa | | –11,20 | |
| UCOren bilketa | | | 8,10 |
| UCOren garbiketa | | | 1,75 |
| UCOren garraioa | | | 3,03 |
| UCOren transesterifikazioa | | | –1,07 |
| Erregaiaren azken banaketa | 4,09 | 1,43 | 2,87 |
| Kontsumoa autoan | 146,87 | 4,13 | 4,32 |
| Guztira | 163,00 | 70,80 | 19,00 |

**6.4. taula. Berotegi-efektuko gasen igorpenak bizitza-zikloan zehar, EN-590 diesel fosilerako eta BD100A1 eta BD100A2 biodieseletarako (Iturria: Lechón *et al.*, 2006).**

Berotegi-efektuko gasen igorpenak biltzen dituen taulari erreparatuz (6.4. taula), alde garrantzitsuak ikus daitezke erregaien artean, igorpenen ikuspegitik. Igorpen txikienak UCOtik eratorritako biodieselak ditu, 19 g $CO_2$-eq/km. Erregai mota hori hondakin batetik ekoizten denez, igorpen gehienak ekoizpen-prozesu motz batean sortzen dira (ia 15 g $CO_2$-eq/km), eta askoz gutxiago azken kontsumoan (4,32 g $CO_2$-eq/km), konbustioan sortutako $N_2O$-renak —oso $N_2O$ gutxi sortzen

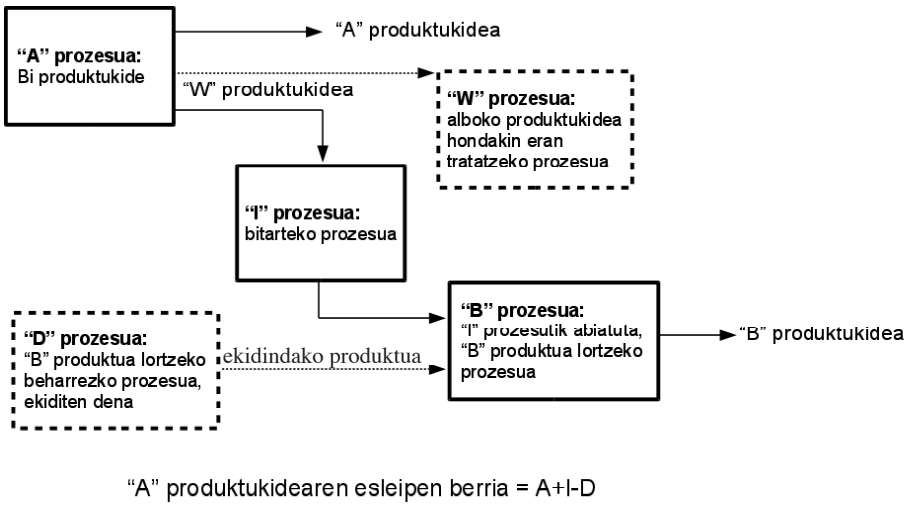
da konbustioan, baina haren BEGen efektua oso handia denez ($CO_2$-rena halako hirurehun), igorpen baliokidea ez da batere mespretxagarria—. Landare-olioetatik eratorritako biodieselaren berotegi-efektu metatua, berriz, handiagoa da, ia 71 g $CO_2$-eq/km, nagusiki hazien ekoizpenean sortutakoa. Biodieselaren BEGen igorpenak, baina, askoz handiagoak dira: 163 g $CO_2$-eq/km. Dieselaren fabrikazioan ez da UCOtik fabrikatutako biodieselarenean baino askoz gehiago isurtzen, baina diesel fosilaren energia basea jatorri fosilekoa denez, konbustioan agertutako $CO_2$ guztia ez-neutroa da, diesel fosilaren igorpen ia guztiak sortuz.

Energia fosilaren balantzeari dagokionez (6.3. taula), erregai moten arteko aldeak are nabarmenagoak dira. Autoa kilometro batez mugiarazteko behar den energia-zenbatekoa —unitate funtzionala; gogora dezagun, 1,89 MJ— ekoizteko kontsumitu beharreko energia fosila 0,086 MJ da BD100A2 motako biodieselaren kasuan; BD100A1 motakoan, berriz, fosilen kontsumoa 0,489 MJ-ra igotzen da, hazien ekoizpenak eta olioaren erauzketak energetikoki nahiko intentsiboak baitira. Hala ere, askoz energia fosil gehiago eskatzen du EN-950 motako diesel erregaiak unitate funtzionala fabrikatzeko, 2,155 MJ; baina kontuz: energia-zenbateko horren zatirik handiena, hain zuzen ere 1,89 MJ, azken kontsumoan erretzen den energia basea sortzeko da. Bioerregaien kasuan, energia baseak biomasan jatorria duenez, energia-zenbateko hori ez da energia fosilaren balantzean agertzen, baina kontuan hartu behar dugu, orobat, energia-balantze orokorra egiterakoan, aurrerago ikusiko denez.

Aurreko bi tauletan kontzeptu batzuk zeinu negatiboarekin agertzen dira, adibidez, olio gordinaren eta UCOren transesterifikazioan sortutako igorpenak. Energia-balantzeetan ere zeinu negatiboa dakarte transesterifikazioko azpiprozesuek. Posible al da prozesu batek energia sortzea, edo igorpenak xurgatzea, zeinu negatiboek adierazten duten bezala? Kontraesan horren muina sarrerak eta irteerak esleitzeko arauetan datza, aitzinago azalduko denez.

### *6.4.4. Sarrerak eta irteerak esleitzeko arauak*

Azpiprozesu askotan prozesukide bi edo gehiago sortzen dira. Kasu horietan, prozesuaren sarrerak —energia-kontsumoak, lehengaiak— eta irteerak —sortutako hondakinak eta igorpenak— banatu behar dira prozesukideen artean. Horren adibidea da olioen transesterifikazioa, non eta biodieselarekin batera, ezaugarri industrialeko glizerina sortzen den: 1 kg biodieselekin batera, 90 g glizerina. Prozesuaren sarrerak eta irteerak biodiesel eta glizerinaren artean esleitzeko, aukera bat izan daiteke bakoitzaren masa kontuan hartzea. Beste kasu batzuetan, bidezkoa izan daiteke produktukide bakoitzaren balio ekonomikoa edo eduki energetikoa kontuan hartzea, esleipena egiteko. Hala eta guztiz ere, ISO 14.040 arauak gomendatzen du sarrera eta irteeren esleipena guztiz ekiditea, sistemaren mugak handiagotzearen bidez —**sistemaren hedapena**—. Estrategia horren muina 6.4. irudian erakusten da.




**6.4. irudia. Sistema baten sarrera eta irteeren esleipena ekiditeko estrategia: sistemaren mugak handiagotzea (Iturria: Weidema, 2000).**

Sistemaren hedapena, edo sistemaren mugak handiagotzea, aplikatzen da, adibidez, olio gordinen eta UCOren transesterifizakioaren inbentarioan. Aurreko kapituluetan erakutsi denez, transesterifikazioan biodieselaz gain glizerina ere sortzen da. Gauzak horrela, transesterifikazioaren energia-kostuak eta igorpenak produktukideen artean —biodiesela, «A» produktukidea da; eta glizerina, «W» produktukidea da— banatu behar dira. ISO arauei jarraituz, Ciemat-ek transesterifikazioaren mugak handiagotzen ditu esleipena saihesteko. Printzipio horren arabera, lehenengoz, «W» produktukidea zertarako erabil daitekeen identifikatu behar du ikertzaileak, eta jakina da glizerina propilenglikola izotz-kontrako eta disolbatzailea egiteko erabil daitekeela —propilenglikola «B» produktua da—. Hortaz, transesterifikazioan sortutako glizerinak industria-kalitateko glizerina ordezka dezake. Beraz, industria-kalitateko glizerina sortzeko behar den prozesua da ekiditen den «D» prozesua. Horrela, sistemaren mugak hedatuz gero, transesterifikazioan sartzen diren irteera eta sarrera guztiak biodieselari esleitzen zaizkio, baina aldi berean ekiditen den «D» prozesuarenak kenduz. Ezaugarri industrialeko glizerina sortzeko prozesu estandarretan, egun, behar den energia fosila olioen transesterifikazioan behar dena baino gehiago da, eta horregatik esleipen netoa negatiboa da, 6.3. taulan ikus daitekeenez. Arrazoi berberagatik 6.4. taulak jasotzen du olioen transesterifikazioak $CO_2$-aren igorpen negatiboak dakartzala: transesterifikizioan sortutako BEGen igorpenak industria-glizerina fabrikatuz sortutakoak baino gutxiago dira.

Sistemaren hedapena olio-landareen hazien birrinketan ere aplikatzen da, han sortutako irinen ekoizpena sistema barruan kontuan hartzeko, eta inbentarioan irin berberak beste bide batez sortzeko beharko liratekeen energia eta lehengaiak, eta sortuko liratekeen igorpenak eta hondakinak, inbentariotik kenduz.

## *6.5. EHU-KO BIODIESELAREN LCA*

Aurreko kapituluetan erakutsi dugu posible dela bioerregaiak fabrikatzea teknologia oso garatua erabili gabe, kudeatzeko nahiko gogaikarria den hondakin bat erabiliz —hau da, frijitzeko erabilitako olioa balorizatuz—. Hala eta guztiz ere, Unesco Katedrak finantzatutako *Transesterifikazioak. Biodieselak* proiektuaren helburua ez zen, bakarrik, UCOren transesterifikazioaren bideragarritasun teknikoa aztertzea; proiektuaren muinean zegoen, era berean, jakitea ea posible litekeen prozesu osoa EHUn bertan burutzea, eta aztertzea zein ondorio ekar lezakeen horrek, iraunkortasunaren ikuspegitik. Ondorengo lerroetan frogatuko dugunez, landare-olioen bilketa eta transesterifikazioa EHUn burutzeak pisuzko onurak lekartzake, beste erregaiekin konparatuta jada nabariak diren UCOtik eratorritako biodieselaren abantailak handituz. Onura horiek agerian uzteko, funtsezkoa da bizitza-zikloaren balioespenaren metodologia eta tresnak erabiltzea, bioerregaien bizitza-zikloan aplikatuz.

Beraz, atal honetan honako galdera honi erantzuten saiatuko gara: zertan aldatuko litzateke biodieselaren bizitza-zikloaren balioespena, UCO EHUn bertan bildu eta prozesatuko balitz? Erantzuteko, Ciemat-ek egindako bizitza-zikloaren inbentariotik abiatuko gara; inbentario horretan doiketa batzuk egingo ditugu, UCO EHUn bertan bildu eta prozesatuko balitz eratuko litzatekeen balizko prozesu osoaren bizitzaren balioespena egiteko, alde batetik. Baina horiek ez dira izango doiketa bakarrak. Beste alde batetik, Ciemat-eko ikerketa-lanean aurkitu ditugun akats numeriko edota metodologiko batzuk ere zuzenduko ditugu, gehienak Ciemat-eko ikertzaileekin kontrastatutakoak.

Hasierako datuak guretzat, beraz, 6.3. taulan bildutakoak dira. BD100A2 motako biodieselekoak 6.5. taularen bigarren zutabean erakusten dira. Taula bereko hirugarren eta laugarren zutabeetan Ciemat-ek aztertutako bizitza-ziklo berberaren datuak erakusten dira, energia primariorako eta jatorri fosilekorako, baina zuzenketa batzuk eginda, UCOren bilketa- eta transesterifikazio-prozesuei lotuta.

| | **BD100A2 Ciemat-eko kalkuluak** | **BD100A2 kalkuluak zuzenduta** | |
|---|---|---|---|
| **Ekoizpen-fasea** | **Energia fosila MJ/km** | **Energia primarioa MJ/km** | **Energia fosila MJ/km** |
| UCOren bilketa | 0,070 | 0,082 | 0,082 |
| UCOren garbiketa | 0,021 | 0,023 | 0,021 |
| UCOren garraioa | 0,029 | 0,029 | 0,029 |
| UCOren transesterifikazioa | –0,078 | 0,300 | 0,299 |
| Erregaiaren azken banaketa | 0,044 | 0,044 | 0,044 |
| Guztira | 0,086 | 0,478 | 0,475 |

**6.5. taula. Energiaren kontsumoa bizitza-zikoan zehar BD100A2-rako, Ciemat-en arabera eta gure zuzenketekin (Iturria: Lechón *et al.*, 2006).**

UCOren bilketari dagokionez, Ciemat-eko kalkuluari zuzenketa metodologiko bat egin diogu. Ciemat-ek UCOren bilketaren garraio-kostua 0,082 MJ/km-tan balioesten du; gero, sistemaren hedapenaren printzipioa aplikatuz, 0,012 MJ/km kentzen dio, uste baitu hori dela zementu-fabriketan UCO erretzeak dakarren garraio-kostua —ekiditen den garraioa, UCO behin bilduta zementu-fabriketara eramateko— (Lechón *et al.,* 2006: 62-63). Baina akats bat dago planteamendu horretan: sistemaren mugak handitzen badira zementuaren ekoizpena kontuan hartzeko, Ciemat-ek kontuan izan behar du UCO zementu-fabriketan energetikoki balorizatzen dela; hau da, UCO erabili ezean beste erregai bat erabili beharko luketela —segur aski jatorri fosilekoa— eta hura ere garraiatu, agian are urrunagotik. Badirudi, beraz, sistemaren hedapena oker aplikaturik dagoela kasu honetan. Hala eta guztiz ere, uste dugu arazo honi aurre egiteko ikuspuntua desberdina izan behar dela: bizitza-zikloaren fase honetan UCO hondakina denez, sistemaren mugak hedatzeak ez du zentzurik, eta bilketaren kostuak bakarrik hartu behar ditugu kontuan, hobaririk gabe.

Beste zuzenketa garrantzitsu bat transesterifikazioaren prozesuari egin diogu. Ciemat-ek –0,078 MJ/km esleitzen dio prozesu horri energia-hobari garrantzitsu bat onartuz, hain zuzen transesterifikazioan sortutako glizerinaren balorizazioak lekarkeena. Hala ere, glizerinaren balorizazioa UCOren transesterifikazioan eztabaidagarria da, oso. Sortutako glizerina ezaugarri industrialekoa litzateke, eta horrek irtenbide zaila luke merkatuan, bereziki olioen transesterifikazioa prozesu oso zabaldua izango balitz biodieselak ekoizteko. Gaur egun, jada, sektoreak arazoak ditu glizerinari balorizazioko irtenbide bat aurkitzeko. Horregatik, askoz zentzuzkoagoa da, gure ustez, glizerinaren merkatua saturatuta dagoela suposatzen duen Ciemat-en eszenatokia. Horretan, transesterifikazioaren jatorri fosileko energia-kontsumoa 0,299 MJ/km da. Kontsumo primarioa, berriz, 0,300 MJ/km da[7].

Gauzak horrela, UCOren bilketa eta transesterifikazioa EHUn bertan egingo balitz sortuko liratekeen kontsumoak zehazteko datu guztiak ditugu jada. Emaitzak 6.6. taulan biltzen dira.

| | **BD100A2 Ciemat-en kalkuluak, erreferentzia** | | **BD100A2 Transesterifikazioa BIONOR enpresan** | | **BD100A2 Transesterifikazioa EHUn** | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Ekoizpen-fasea** | **Energia primarioa MJ/km** | **Energia fosila MJ/km** | **Energia primarioa MJ/km** | **Energia fosila MJ/km** | **Energia primarioa MJ/km** | **Energia fosila MJ/km** |
| UCOren bilketa | 0,082 | 0,082 | - | - | - | - |
| UCOren garbiketa | 0,023 | 0,021 | 0,023 | 0,021 | 0,023 | 0,021 |
| UCOren garraioa | 0,029 | 0,029 | 0,029 | 0,029 | - | - |
| Transesterifikazioa | 0,300 | 0,299 | 0,300 | 0,299 | 0,300 | 0,299 |
| Azken banaketa | 0,044 | 0,044 | - | - | - | - |
| Guztira | 0,478 | 0,475 | 0,352 | 0,349 | 0,323 | 0,320 |

**6.6. taula. Energiaren kontsumoa UCO EHUn transesterifikatuz gero.**

7. Kontsumo honetan zuzenketa bat egin dugu, Ciemat-en kalkuluetan akats bat baitzegoen: Ciemat-ek suposatzen du transesterifikazioan 10 MJ UCO/1 kg biodiesel kontsumitzen dela, eta ez da horrela, geroago onartu duenez.

UCOren bilketa eta transesterifikazioa EHUk Leioan duen campusean burutuko balitz, EHUko ikasle, irakasle eta langileek eramango lukete euren etxeetan sortutako hondakina, furgonetaren bidez Euskal Herri osoan zehar egiten den UCOren bilketa oso inefizientea saihestuz. Landare-olio erabiliak EHUn bertan behin bilduta eta garbituta, olio garbiak Berantevillara eraman behar dira, han transesterifikazioa jasateko. Leioatik Berantevillara dagoen distantzia, azken batean, Altsatsutik dagoen berbera denez, UCO garbiaren garraio-kostua berdin mantentzen da (0,029 MJ/km). Horrela, jatorri fosileko energia-kontsumoa bizitza-ziklo osoan 0,349 MJ/km izan liteke, eta energia primarioarena 0,352 MJ/km. UCOren bilketa EHUn egiteak, beraz, energia-kontsumoa % 26 gutxitzen du. Horrez gain, transesterifikazio-prozesua, BIONORek Berantevillan duen plantan burutu beharrean, EHUn bertan egingo balitz, ez litzateke beharrezkoa UCO garbia garraiatzea, eta jatorri fosileko energia-kontsumoa bizitza-ziklo osoan 0,320 MJ/km izan liteke, eta energia primarioarena 0,323 MJ/km, energia-kontsumoa % 32 gutxituz. Aztertutako bi kasuetan suposatu da ekoitzitako biodieselaren azken banaketa EHUn bertan burutuko litzatekeela, adibidez campusera egunero etortzen diren hainbat ibilgailuren erregai-tangak betetzeko.

Ondorioz, UCO EHUn biltzeak eta biodiesela leku berean banatzeak onura garrantzitsu bat dakar kontsumo energetikoaren aldetik: laurden batean murrizten da; transesterifikazioa ere campusean burutuz gero, kontsumo fosilaren murrizketa ia heren batera igoko litzateke.

Posible da, era berean, berotegi-efektuko gasen isurpenak kalkulatzea, Ciematek burututako bizitza-zikloaren balioespenetik hasita. Horretarako, 6.4. taulan biltzen diren $CO_2$-igorpenen datuak hartuko ditugu, eta EHUko prozesua ezaugarritzeko garraio-beharrei dagozkien igorpenak kenduko dizkiegu. Azkeneko emaitzak 6.7. taulan erakusten dira.

| **EN-590** | **BD100A2** | **BD100A2 UCO EHUn bertan bilduta** | |
|---|---|---|---|
| | **Erreferentzia (Ciemat)** | **Transesterifikazioa BIONOR-en** | **Transesterifikazioa EHUn** |
| **$gCO_2$-eq/km** | **$gCO_2$-eq/km** | **$gCO_2$-eq/km** | **$gCO_2$-eq/km** |
| 163 | 23 | 14,9 | 11,9 |
| Erreferentzia | –% 85,9 | –% 90,9 | –% 92,7 |

**6.7. taula. BEGen igorpen maila, aztertutako prozesuetarako.**

Landare-olio erabiliak transesterifikatuz egindako biodieselak jatorri fosileko dieselak baino BEGen igorpen maila askoz apalagoa du. Erreferentziazko EN-590 motako erregaiak 163 $gCO_2$-eq/km igorpen maila du; BD100A2 bioerregaiak, berriz, 23 $gCO_2$-eq/km, hau da, % 85,9 gutxiago. UCOren biodieselak dakarren igorpen-murrizketa ia % 86 da; eta olio erabilia EHUko campusetan bilduko balitz, murrizketa % 90,9 litzateke; transesterifikazioa ere EHUn bertan burutuko balitz,

murrizketa % 92,7 izan liteke. Beraz, UCOren transesterifikazioa, eta gutxienez lehenengo bilketa eta garbiketa EHUko campusean burutzea, oso onuragarria litzateke jada nahiko baxua den BD100A2 motako bioerregaiaren isurpen maila are gehiago gutxitzeko. Bizitza-zikloaren analisiak argi uzten du oraindik tarteak geratzen direla biodieselaren fabrikazioan igorpenak murrizteko, UCOren bilketa eta bioerregaiaren banaketa unibertsitateko campusetan zentralizatuz, adibidez.

### *6.6. BIOERREGAIEN BIZITZA-ZIKLOAREN BALIOESPENA ENERGIA-ARLOAN: ERRENTAGARRITASUN ENERGETIKOA (EROEI)*

Atal honetan, landare-olio erabilietatik egindako biodieselaren balioespen energetikoa egingo dugu, emaitzak beste erregai batzuen emaitzekin erkatuz.

Zer da erregai baten —edo, oro har, energia-eroale baten— errentagarritasun energetikoa? Errentagarritasun energetikoak, nolabait, erregaia ekoizteko prozesuaren kostu energetikoa islatu behar du; kostu hori kuantifikatzeko ohikoa da input-output erlazioa (*I:O ratio*a delakoa) erabiltzea. Mittelbach-en arabera (2007), **I:O ratioa** energia-balantzean oinarritzen da, eta honako hau islatzen du: energia-eroalearen zenbateko zehatz bat ekoizteko, prozesuan zehar erantsi edo kontsumitu behar den energia kopuruaren eta energia-eroale beraren eduki energetiko erabilgarriaren arteko erlazioa. Energia-kontsumoak, noski, erregaiaren bizitza-ziklo osoa kontuan harturik eratutako energia-balantzetik hartu behar dira. Ciemat-en txostenak I:O ratio horri **energia-efizientzia** izena ematen dio, eta bi ratio desberdintzen ditu: energia primarioko ratioa (erregaiaren energia zati kontsumitutako energia primario guztia, jatorri fosilekoa zein berriztagarria), eta energia fosileko ratioa (bakarrik energia primario fosila kontuan hartzen duena). Antzeko ratioak horrela definituta ohikoak dira literatura zientifikoan (Farrell, 2006). Analisi horien emaitza adierazgarrienak 6.8. taulan bildu ditugu.

| Erregaia | Efizientzia energetikoa<br>Primarioa<br>$MJ_{erregai}/MJ_{primario}$ | Fosila<br>$MJ_{erregai}/MJ_{fosil}$ | Iturria |
|---|---|---|---|
| Biodiesela (koltza) | - | 1,9-3,0 | Mittelbach |
| Biodiesela (soja) | - | 3,21 | Mittelbach |
| BD100A1 | 1,12 | 1,73 | Ciemat |
| Biodiesela (UCO) | - | 5,51 | Mittelbach |
| BD100A2 | 1,87 | 3,86 | Ciemat |
| Etanola (Today) | 1,27 | 1,33 | Farrell |
| Etanola ($CO_2$ Intensive) | 1 | 1,05 | Farrell |
| Etanola (future Cellulosic) | 10 | 12,5 | Farrell |
| Diesel fosila | - | 0,83-0,9 | Mittelbach |
| EN-590 (fosila) | 0,88 | 0,88 | Ciemat |
| Gasolina | 0,84 | 0,85 | Farrell |

**6.8. taula. Erregai batzuen efizientzia energetikoa (I:O ratioa$^{-1}$)**

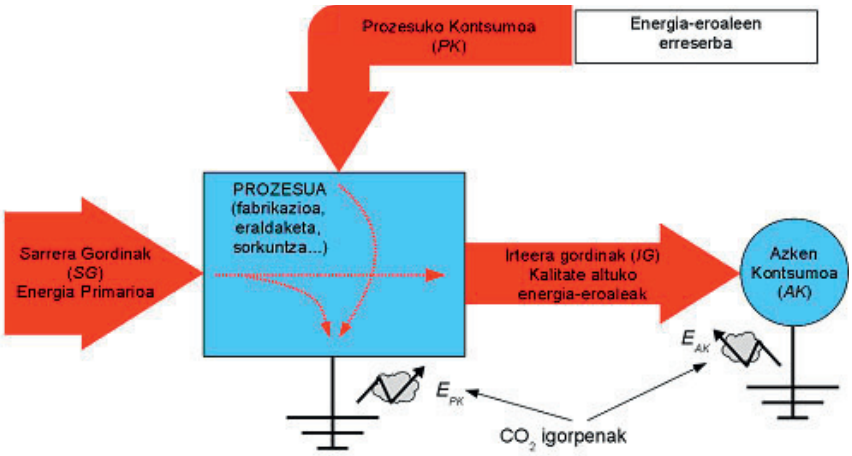
**(Iturria: Mittelbach, 2007; Lechón *et al.*, 2006; Farrell, 2006).**

Planteamendu honen arabera, bioerregaien efizientzia energetikoa erregai fosilena baino altuagoa da. Izan ere, 6.8. taulan ikusten denez, bioerregaientzat, efizientzia unitatea baino altuagoa da, kasu gehienetan; erregai fosilentzat, berriz, unitatea baino baxuagoa da efizientzia. Aurreko taula ikusita, edonork ondorioztatuko du bioerregaiak erregai fosilak baino efizienteagoak direla, energetikoki. Hala ere, gauzak ez daude hain garbi; izan ere, kontu honetaz argi pixka bat egiten saiatuko gara, hurrengo lerroetan.

Energia-balantzeak 6.8. taulan ikusita, Ciemat-i kasu eginez gero, ondorioztatzen da EN-590 motako dieselaren 1 MJ ekoizteko, bidean 1,136 MJ (1 MJ/0,88) energia primario kontsumitu behar dela. BD100A1 motako biodieselaren 1 MJ ekoizteko, berriz, 0,893 MJ energia primario bakarrik behar da (1 MJ/1,12). Erkaketa hori, baina, ez da batere zintzoa. Dieselaren kasuan, kontsumitutako balizko energia-zenbatekoak (1,136 MJ) barruan hartzen du ekoizpen-prozesuan kontsumitutakoa, baita aurreko atal batean deituriko energia basea, hau da, azkeneko erregaiaren eduki energetikoa. Biodieselaren kasuan, taulatik ondorioztatzen den energia-kontsumoa prozesukoa da bakarrik, eta ez du energia basea barruan hartzen —bestela, efizientzia, beti, unitatea baino baxuagoa litzateke—. Badirudi txosten hauetan, energia-errentagarritasuna kalkulatze aldera, bi irizpide eratzen direla, aldez aurretik: 1) energia basea kontsumotzat hartzen da, baina 2) energia basearen barruan bakarrik jatorri fosilekoa kontuan hartzen da, ez berriztagarria.

Baina bi irizpide horiek oker daude, ez dira zuzenak. Hasteko, energia basea —erregaiaren eduki energetikoa— ez da ekoizpen-prozesuaren barruan kontsumitzen; gainera, kontsumotzat hartzekotan, ez da ulertzen zergatik hartzen den bakarrik jatorri fosilekoa, eta ez berriztagarria. Badirudi akats metodologiko bat dagoela. Baina bi irizpide horiei jarraitzen die, adibidez, Farrell-ek *Science* aldizkarian argitaratutako lanak, geroago Giampietro eta Mayumi ikertzaileengandik erantzun eta kritika zorrotz eta zehatza jaso zuena (Giampietro eta Mayumi, 2009: 158-159). Izan ere, Farrell-en lanak kritika zorrotzak jaso zituen *Science* aldizkarian ere, 2006ko ekaineko zenbakian. Kritikoenen artean N. Hagens eta K. Mulder agertu ziren, eta ikertzaile horien lan batean (Hagens eta Mulder, 2008) oinarrituko gara bioerregaien efizientzia energetikoa nola kalkulatu behar den arrazoitu eta azaltzeko.

Hurrengo irudiak (6.5. irudia) prozesu generiko baten diagrama energetikoa erakusten du. Horretan, prozesuak energia-eroale bat erdiesten du —gure kasuan erregai bat— energia primarioaren hornikuntzatik hasita (eguzki-energiaren emari berriztagarria, eta erregai fosilak).




**6.5. irudia. Prozesu generiko baten diagrama energetikoa.**

Mendeetan zehar, eta bereziki azken 200 urteetan, gizateriak energia eraldatzeko prozesu anitz martxan jarri ditu, zeinen bidez energia primarioaren baliabide eskuragarriak —jatorri fosileko erreserbak zein eguzki-energiaren emari berriztagarriak— oso kalitate altuko beste energia-eroale bihurtu baitzituen, bereziki elektrizitate eta erregai likidoak.

Termodinamikaren bigarren legea aplikatuz, prozesu energetiko guztiek, beti, energia primarioa (sistemaren sarrera gordinak, *SG*) beste eroale bat (sistemaren irteera gordinak, *IG*) bihurtzen dute % 100 baino gutxiago den efizientzia batekin —askotan, nabarmenki baxuagoa—:

$$\eta = \frac{IG}{SG} \qquad (1)$$

Sistemara sartzen den energia primarioaren zati bat eraldaketa-prozesuan galtzen da, baina galera horiek irteeran erdiesten den eroale berriaren kalitate eta erabilgarritasun altuek orekatzen dituzte, nolabait: gasolina, landare-olio edo elektrizitatearen erabilgarritasuna, adibidez, 2 km-ko sakoneran lurperatuta dagoen petrolioarena edo eguzki-erradiazioarena baino askoz altuagoa da.

Energia eraldatzeko prozesuak ere energia eskatzen du funtzionatzeko, normalki kalitate altuko energia-eroaleak kontsumituz (prozesuko kontsumoa, *PK*). Kalitate altuko eroaleak dira, adibidez, elektrizitatea, edo erregai fosilen deribatu likidoak. Energia-analisietan, sistemak ezaugarritzeko, ohikoa eta oso egokia da erabiltzea ez bakarrik haien efizientzia, baizik eta **energiaren itzultze-tasa** ere (energy return on energy invested, EROEI). EROEI adierazlea da prozesu baten irteera gordinen eta prozesua bera martxan jartzeko behar diren energia-kontsumoen arteko zatidura, kontzeptu biak kalitate altuko energia-eroalearen magnitude baliokideetan neurtuta:

$$EROEI = \frac{IG}{PK} \quad (2)$$

Zenbat eta altuagoa den eraldaketa-prozesu baten EROEIa, orduan eta errentagarriagoa izango da prozesu hori; beste modu batez esanda, zenbat eta baxuagoa den prozesuaren funtzionamenduak eskatzen duen energia-kontsumoa, hainbat eta altuagoa izango da haren errentagarritasun energetikoa (Hagens eta Mulder, 2008; Giampietro eta Mayumi, 2009).

Aurreko irudiak argiro erakusten ditu ikertzen ari den prozesuaren bi kontsumo-une nagusiak, bakoitza bere $CO_2$-aren igorpenekin batera: $E_{PK}$ da prozesuak eskatzen dituen energia-kontsumoetan sortutako $CO_2$-aren igorpenak —adibidez, findegi batean gertatzen diren energia-kontsumoak eta lotutako igorpenak—, eta $E_{AK}$ da energia-eroalearen azken kontsumoari lotutako igorpenak —erregaiaren kontsumoan autoaren motorrean—. Prozesuak sortutako eroalearen azken kontsumoan, beti, energia base delakoa kontsumitzen da, eta kontsumo horren izaera prozesuaren kontsumotik zorrotz desberdindu behar dugu.

EROEI adierazlearen definizioa buruan, erraza da atal honetan aztertzen ari garen erregai desberdinen errentagarritasun energetikoak erkatzea, 6.8. taulan biltzen diren datuetatik hasita, eta betiere bakarrik prozesuko kontsumoak kontuan hartuz (PK 6.5. irudian). Gauzak horrela, 6.9. taulan erregai desberdinen EROEI primarioa eta fosila erakusten dira.

| **Erregaia** | **Prozesuko kontsumoa** | | **EROEI** | | **Iturria** |
|---|---|---|---|---|---|
| | **Primarioa** | **Fosila** | **Primarioa** | **Fosila** | |
| | **$MJ_{primario}/MJ_{erregai}$** | **$MJ_{fosil}/MJ_{erregai}$** | | | |
| Biodiesela (koltza) | - | 0,33-0,53 | - | 1,9-3,0 | Mittelbach |
| Biodiesela (soja) | - | 0,31 | - | 3,21 | Mittelbach |
| BD100A1 | 0,89 | 0,58 | 1,12 | 1,73 | Ciemat |
| Biodiesela (UCO) | - | 0,18 | - | 5,51 | Mittelbach |
| BD100A2 | 0,53 | 0,26 | 1,87 | 3,86 | Ciemat |
| Etanola (Today) | 0,79 | 0,75 | 1,27 | 1,33 | Farrell |
| Etanola ($CO_2$ Intensive) | 1 | 0,95 | 1 | 1,05 | Farrell |
| Etanola (future Cellulosic) | 0,1 | 0,08 | 10 | 12,5 | Farrell |
| Diesel fosila | - | 0,11-0,20 | - | 4,88-9,0 | Mittelbach |
| EN-590 (fosila) | 0,14 | 0,14 | 7,33 | 7,33 | Ciemat |
| Gasolina | 0,19 | 0,18 | 5,25 | 5,67 | Farrell |

**6.9. taula. Erregai batzuen EROEI adierazleak, Mittelbach, 2007; Lechón *et al.*, 2006 eta Farrell, 2006 txostenen datuetatik hasita.**

Aztertzen ari garen erregai guztien errentagarritasun energetikoak erkatu eta balioesteko, askoz zintzoago eta justuagoa da 6.9. taulan erakusten diren datuak kontuan hartzea, 6.8. taulakoak baino. Aurkeztutako EROEIaren metodologiarekin

zehatz-mehatz definitu dugu errentagarritasun energetikoa zer den; gainera, azkeneko kontsumoa alde batetik, eta prozesuko kontsumoa, bestetik, ondo zehaztuta, ez dago aukerarik haiek kalkulatzean anbiguotasunik gertatzeko, jatorri fosileko dieselen hainbat ikerketatan gertatzen den bezala.

Energia-eroale baten errentagarritasun energetikoa balioesteko, hura fabrikatzeko sortzen diren prozesuko kontsumoak bakarrik kontuan hartu behar ditugu, eta inolaz ere ez eroale beraren energia basea. Gauzak horrela, onartu beharra dago errentagarritasun energetikoaren ikuspegitik jatorri fosileko dieselaren fabrikazioa nahiko errentagarria dela, beste erregai likido askorekin erkatuz gero —azken batean, horregatik kontsumitzen dugu hainbeste erregai fosil likido—. Bioerregaien energia basea jatorri berriztagarrikoa da, baina prozesuan, bioerregaien ekoizpenak, oro har, jatorri fosileko kontsumo garrantzitsuak eskatzen ditu, eta horrek energia itzultze-tasa (EROEI) nahiko baxua izatea dakar. Diesel eta gasolinaren fabrikazioan, prozesuko kontsumo fosila 0,2 $MJ/MJ_{erregai}$ baino gutxiago da, oro har; tarte horretara hurbiltzen den bioerregai bakarra UCOtik ekoitzitako biodiesela da (0,18-0,26 $MJ/MJ_{erregai}$), eta etorkizuneko balizko etanol zelulosikoa (0,08 $MJ/MJ_{erregai}$), oraindik eskuragarri ez dagoena. Landare-olio gordinetatik fabrikatutako biodieselaren prozesuko kontsumo fosila, berriz, altuagoa da (0,33-0,58 $MJ/MJ_{erregai}$). AEBn ikatza kontsumituz fabrikatzen den etanolaren kontsumoa, bere aldetik, etanol beraren eduki energetikoa bezainbestekoa da. Prozesuko kontsumo primarioa kontuan hartzen badugu —jatorri fosilekoa ez den energia primarioaren kontsumoa ere kontuan hartuz, hau da, fosilak ez diren lehengaien kontsumoak eta elektrizitate berriztagarria—, Ciemat-en datuetatik abiatuta honako datu hauek ateratzen dira: EN-590 motako dieselaren EROEIa 7,33 den bitartean, BD100A1 biodieselarena (landare-olio gordinena) 1,12 da, eta BD100A2 motakoarena (UCOrena) 1,87.

Bioerregaien ekoizpen-prozesu osoan zehar gertatzen diren energia-kontsumo garrantzitsuek —neurri handi batean, gainera, jatorri fosilekoak— energiaren itzultze-tasa nahiko baxua izatea dakarte. Begien bistakoa denez, unitatea baino baxuagoa den EROEIa duen erregai bat ekoizteak ez dauka batere zentzurik, baina ezta unitatea baino nabarmen handiagorik ez duena ere. Non dago, energetikoki, errentagarria izateko muga, edo ataria? Giampietro eta Mayumi-ren iritziz (2009: 124-126), erregai bat energetikoki errentagarria izateko, horren EROEI adierazleak gutxienez 2,0 izan behar du, hau da, ekoizpen-prozesuan zehar kontsumitutako energiak erregaiaren energia basearen erdia baino gutxiago izan behar du. Muga horren azpitik erregaia ez litzateke errentagarria izango energia exosomatikoaren eroale gisa.

Erregai desberdinen EROEIak biltzen dituen 6.9. taulan ikus daitekeenez, bioerregai guztien EROEI fosila gasolina eta gasolioarena (4,9-9 $MJ_{fosil}/MJ_{erregai}$) baino baxuagoa da beti, bi kasutan izan ezik: UCOtik sortutako biodieselarenean (3,9-5,5 $MJ_{fosil}/MJ_{erregai}$), eta oraindik komertzialki fabrikatzen ez den etanol

zelulosikoarenean (10 $MJ_{fosil}/MJ_{erregai}$). Beste kasu guztietan EROEI fosila 2,0 baino gutxiago da, eta batzuetan 1,5 baino baxuagoa ere. Energia primarioaren kontsumo guztiak kontuan hartzen dituzten EROEI primarioak are baxuagoak dira. Bioerregai askoren fabrikazioa, beraz, neurri handi batean erregai fosilen konbertsiotzat hartu behar dugu —kasu gehienetan, gainera, likidoak ez direnak: ikatza, eta gas naturala; horretan datza, ezbairik gabe, haien interes ekonomikoa—; balizko konbertsio horretan erregai fosilek energia base neutroa duen beste erregai bat erdiesten dute; erregai horren azkeneko kontsumoan ez da $CO_2$-aren isurpenik sortzen, baina horrek ez du batere ezabatzen fabrikazioan zehar kontsumitutako erregai fosil guztien zama.

Hala eta guztiz ere, jada azpimarratu denez, bioerregaien artean alde handiak daude. Oraindik era industrialean bideragarria ez den bioetanol zelulosikoaren kasua alde batera utzita, energetikoki errentagarri geratzen zaigun bakarra da olio-landare erabiliak transesterifikatuz sortutako biodiesela (BD100A2).

Goragoko 5. atalean Ciemat-en kalkuluei egindako zuzenketak kontuan hartuta, 6.6. taulan bildutako datuetatik abiatuta, BD100A2 motako biodieselaren EROEIa ia 4 da (ikus 6.10. taula). Zein ondorio lekarke olio erabiliak EHUn bertan biltzeak? Olioa EHUn bildu eta garbituz gero, EROEI primarioa 5,37ra igoko litzateke; horrez gain, olio garbien transesterifikazioa EHUn ere burutuz gero, EROEIa 5,85era igoko litzateke, lortutako bioerregaiaren errentagarritasun energetikoa are gehiago handituz, kasu horretan saihesten den garraioaren energia-kostuari esker. Datu hauek guztiak 6.10. taulan daude bilduta.

| | **Prozesuko kontsumoa** | | **EROEI** | |
|---|---|---|---|---|
| | **Primarioa** | **Fosila** | **Primarioa** | **Fosila** |
| BD100A2 | $MJ_{primario}/MJ_{erregai}$ | $MJ_{fosil}/MJ_{erregai}$ | | |
| Ciemat-en kalkuluak, erreferentzia | 0,253 | 0,251 | 3,95 | 3,98 |
| Transesterifikazioa BIONOR enpresan | 0,186 | 0,185 | 5,37 | 5,42 |
| Transesterifikazioa EHUn | 0,171 | 0,169 | 5,85 | 5,91 |

**6.10. taula. BD100A2 motako biodieselaren EROEIa, EHUn bildu eta transesterifikatuko balitz.**

Bioerregai baten EROEI fosila murriztu daiteke, fabrikazioan kontsumitu beharreko energia fosila berriztagarriekin ordezkatuz. Baina ordezkapen hori arras zaila da arlo askotan, hala nola nazioarteko garraioan, edo ongarrien fabrikazioan, non erregai fosilen kontsumoa guztiz egiturazkoa baita. Gainera, edonola ere, energia fosila beste bioerregai batzuekin ordezkatuz gero, bioerregaien energia-errentagarritasun netoa nabarmen murriztuko genuke, biomasaren produktibitate apala are gehiago murriztuz; edo beste modu batez esanda, horrek behartuko gintuzke bioerregaien ekoizpena elikatzen duten lehengai eta baliabideen ekoizpenerako

erabiltzen diren lur-eremuak ikaragarri handitzera, liburu honen beste kapitulu batean argi eta garbi azaltzen denez.

Dudarik gabe, egungo erregai fosilen EROEIak egungo bioerregaienak baino altuagoak dira. Baliabide fosilak eskuragarri egon diren bitartean, eta haien ekoizpenak eta kontsumoak ingurumen-arazo handirik ekarri ez duten bitartean —askok, arrazoiz, jarriko dute oztopo azken baldintza hori orain dela asko ez dela betetzen—, erregai fosilek ustiapen oso intentsibo bat jasan dute, euren energia itzultze-tasa oso altua dela medio. Hala eta guztiz ere, baliabide fosilen agorpenak, alde batetik, eta klima-aldaketaren kontrako borrokak, bestetik, beste irtenbide batzuk bilatzera behartzen gaituzte. Baina, oro har, hondakinetatik erdietsitakoak izan ezik, bioerregaiak oso irtenbide txarra dira erregai fosilen kontsumoa ordezkatzeko.

Hala ere, azpimarratu nahi dugu ezen erregaien EROEIen analisitik ez dela ondorioztatzen, inolaz ere, erregai fosil likidoak —gasolina, diesel— bioerregaiak baino hobeagoak direnik. Arrazoi nahikoak eta sendoak daude erregai fosilen kontsumoa irmo arbuiatzeko —natur kapitalaren galera, sortzen duten klima-aldaketa—. Kontua da bioerregai gehienek, ere bai, errentagarritasun energetiko oso baxu baten arazoa dutela, euren erabilera masiboa erregai fosilen ordezko gisa nabarmen murrizten duena. Salbuespen bakarra UCOtik ekoitzitako biodiesela da, momentuz.

### *6.7. ONDORIOAK*

Landare-olio erabilietatik fabrikatutako biodieselaren bizitza-zikloaren balioespenaren inguruko ikerketa honen emaitza nagusiak 6.6. eta 6.7. irudietan biltzen dira.

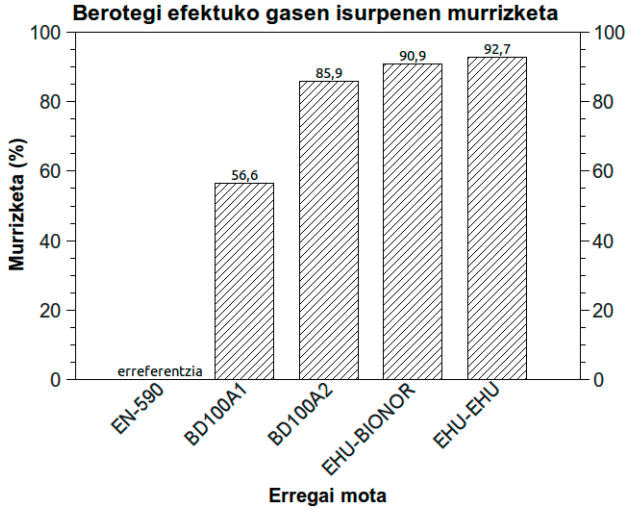
EN-590 motako diesel fosilarekin konparatuta, olio gordinetatik fabrikatutako BD100A1 motako biodieselaren BEGen isurpen maila % 56,6 baxuagoa da. Murrizketa handia badirudi ere, kontuan izan behar dugu murrizten ez diren isurpenen beste % 40k erregai fosilen kontsumoa dakarrela atzean, nagusiki. Hau da, BD100A1 motako biodiesela fabrikatzeko, energia asko kontsumitu behar da, jatorri fosilekoa. Gauzak horrela, BD100A1 motako biodieselaren errentagarritasun energetikoa neurtzen duen EROEIa 1,12 da bakarrik, Ciemat-en datuen arabera (ikus 6.7. irudia).

Landare-olio erabilietatik fabrikatutako BD100A2 motako biodieselaren kasua oso bestelakoa da. Kasu horretan, balorizatzen dugun hondakin bat dugu erregaiaren lehengai gisa. Olio gordinak ekoizteko beharko liratekeen energia-kostu garrantzitsuak saihesten dira horrela, handiagoak diren isurpen murrizketak erdietsiz: % 85,9. Erregai honen ekoizpenean ere kontsumitzen da energia fosila, baina askoz gutxiago, eta horrek EROEI adierazlea energia-errentagarritasunaren muga aise gainditzea dakar: 3,95.

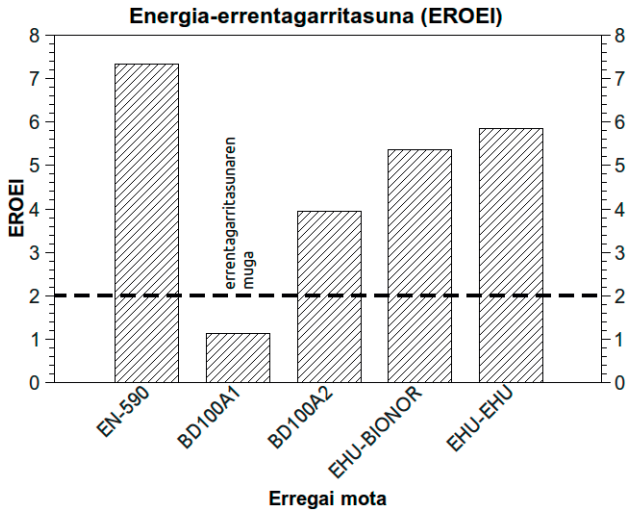
UCOren bilketa eta garbiketa EHUko campusetan burutuko balitz, EHUko ikasle, irakasle eta langile guztiak egunero hara joaten direla aprobetxatuz olio

erabilien bilketa eta garraioa ekiditeko (EHU-BIONOR, 6. eta 7. irudietan), lortutako isurpen-murrizketak are handiagoak lirateke, % 90,9, erregai fosilarekin erkatuta. Garraioan aurreztutako energiari esker, biodieselaren EROEI adierazlea 5,37 izatera pasatuko litzateke. Transesterifikazioa ere EHUn bertan burutuko balitz isurpen murrizketa % 92,7 litzateke, eta EROEIa 5,85 (EHU-EHU, 6.6. eta 6.7. irudietan).

Horrek guztiak erakusten du ezen, *Small is beautiful* filosofiari jarraituz, kontsumo-ohituren aldaketa txikiek —hala nola olio erabiliak birziklatzeak eta horien bilketaz pertsonalki arduratzeak— hobekuntza nabarmenak dakartzatela, arlo askotan.




**6.6. irudia. Erregaien BEG isurpenen erkaketa.**




**6.7. irudia. Erregaien energia-errentagarritasunaren (EROEI) erkaketa.**

### *6.8. BIBLIOGRAFIA*

ESU 2004, SimaPro Database Manual. The ETH-ESU 96 libraries, ESU-services, 2004.

Farrell, A.E. *et al.* (2006): "Ethanol Can Contribute to Energy and Environmental Goals", *Science*, **5.760**, 506-508.

Giampietro, M. eta Mayumi, K. (2009): *The Biofuel Delusion. The fallacy of large-scale agro-biofuel production*, Earthscan.

Gilbert, R. eta Perl, A. (2010): *Transport Revolutions: Moving People and Freight Without Oil*, Earthscan.

Hagens, N.J. eta Mulder, K. (2008): "A Framework for Energy Alternatives: Net Energy, Liebig's Law and Multi-criteria Analysis", in D. Pimentel, *Biofuels, Solar and Wind as Renewable Energy Systems. Benefits and Risks*, Springer Netherlands, 295-319.

Lechón, Y. *et al.* (2006): *Análisis del ciclo de vida de combustibles alternativos para el transporte, Fase II. Análisis del ciclo de vida comparativo del biodiésel y del diésel,* Ciemat.

Mittelbach, M. eta Remschmidt, C. (2007): *Biodielesel. El Manual Completo*, Ed. Martin Mittelbach, Austria.

Weidema, B. (2000): "Avoiding Co-Product Allocation in Life-Cycle Assessment", *Journal of Industrial Ecology,* 4. bol., **3,** 11-33.

## Kimika sailean argitaratu diren beste liburu batzuk

*Etxean egiteko perfumeri produktuak*
Louis Wapniarski, Juan Selva
Fernando Mijangos (itzul.)
1987an argitaratua
ISBN: 84-404-0999-0

*Termodinamika makroskopikoa*
Jose Mari Elorza
1991n argitaratua
ISBN: 84-86967-34-1

*Erreologia. Teoria eta praktika*
Antxon Santamaria eta Elias Untzueta
1998an argitaratua
ISBN: 84-86967-64-3

*Kimika orokorra*
Kimika Saila
1998an argitaratua
ISBN: 84-86967-71-6

*Kimikako problemak*
Itxiar Urretxa eta Jazinto Iturbe
1999an argitaratua
ISBN: 84-86967-97-X

*Usainak eta perfumeak: literaturatik kimikara*
Fernando Mijangos
2001ean argitaratua
ISBN: 84-8438-022-X

*Elikagaiak, elikadura eta dietetika*
Edurne Simón, Bittor Rodríguez eta Idoia Labayen
2007an argitaratua
ISBN: 978-84-8438-092-4

*Sukaldaritza-teknologia: sukaldaritza-prozesuen oinarri zientifikoak*
Encarnación Goikoetxea Osés
2010ean argitaratua
ISBN: 978-84-8438-331-4