

Material plastikoak eta ingurugiroa: polimero biodegradakorrak*

Jose Ramón Sarasua

Euskal Herriko Unibertsitatea
Meatz eta Metalurgi Ingeniaritza eta Materialen Zientziaren Saila
Bilboko Ingeniaritza Goi Eskola
48013 BILBAO
Email: iipsaoij@bi.ehu.es

Laburpena: Material plastikoen ingurugiro-inpaktua ebaluatzeko, balio-bizitza agortu zaielarik hondakin gisa haiekin zer egin erabaki behar da. Materialen kutsadura ekiditeko ez dago bide bakarrik. Plastikoen fabrikazioan albo-produktu hondakinak gutxitzea bilatu behar da, alde batetik. Bestetik, egungo ikerketen arabera hor dira zabalik birziklapen zuzena, degradazioa, errausketa, edota material berrien garapena bezalako aukerak. Halaber, propietateak hobetu eta produktuen balio-bizitza luzatzea bila daiteke edo, beste batzuetan, laburtzea, material biodegradakorrak garatuz. Emisioen gutxitzeak ere helburu nagusia izan beharko luke polimero-ekoizle diren enpresentzat. Gaia konplexua da, polimeroen zientzia eta ingeniartzatik etor daitezkeen garapenez gain, ekonomia eta tokian tokiko politikak sartzen direlako jokoan.

SARRERA

Azken urteotan lurraren baliabideak mugatuak direla ohartu gara eta oharpen honek ingurumenarekiko sentikortasuna eta arduraren handitu dituela esan genezake. Toki askotan lege-erregulazioak ipintzen ari dira indarrean, eta gero eta ugariago, zehatz eta zorrotzago izango direla aurrirakusten dugu gaur egun. Datozen belaunaldiei ingurugiro egoki bat eskaini nahi zaie, baina interes-taldeak ere hor dira. Hala ere, uneko legediaren arabera malgutu beharko dituzte beren helburu ekonomiko hutsak.

Materialen kutsadura da hemen arduratzen gaituen gaia, bereziki plastikoenak. Batetik, plastikoen industriak azken bi hamarkadetan hazkuntza oso azkarra izan duelako (70eko hamarkadan plastikoen erabilera altzairuaren maila berean bazegoen, gaur egun, plastikoen industriak, altzairu eta

* Lan hau Iruñean aurkeztu zen 2000ko uztailaren 26an, UEUko Fisika Sailak antolatutako «Bioklimatika eta Kutsadura» ikastaroaren baitan.

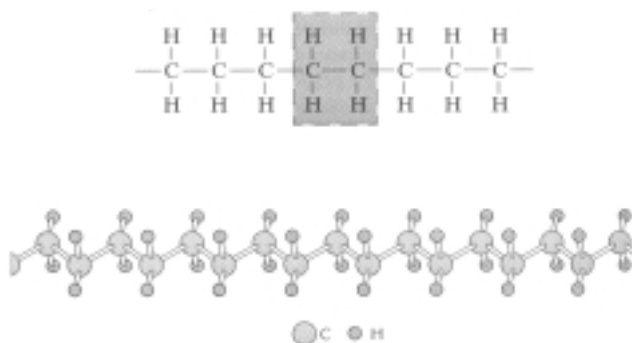
aluminioarenak gainditzen ditu, ekoizpenean biak batera hartuta), eta bes-tetik, plastikoa, beste material tradizionalagoak (papera, egurra, metalak...) baino ezezagunagoa delako.

Azken urteotako material plastikoen produkzioan izandako hazkuntzak material plastikozko hondakinen ugaritzea ekarri du, eta honekin batera haiek ezabatzeko edo tratatzeko arazoak. Zabor solido guztien artean plastikozkoak pisuzko %10 baino ez badira ere, bolumenean ehuneko hau bi-koiztu egiten da. Plastikoen dentsitatea beherea da eta uretan igerian gerta-zen dira (hortik agian haien ospe txarra, alde guztietan daudelako irudi oso hedatu hori). Gainera, plastikoak ezabaezinak direlako ideia ere oso hedatu dago. Baina zehaztu beharra dago: plastikoak birzikla daitezke. Areago, horietatik asko degradakorrak dira (gehienak, baldintza berezietan; baldin-tza biofisiko arruntetan, bakan batzuk soilik: polimero biodegradakorrak).

ZER DIRA POLIMEROAK?

Material plastikoak polimeroak dira, funtsean. Gainera, koloreztatzai-leak, sendotze-osagaiak edo bestelako gehigarriak eraman ohi dituzte. Hondakin plastikoekin zer egin daitekeen ulertzeko, lehenik, polimeroak zer diren esan eta polimero mota desberdinak azalduko ditugu.

Jatorri greziarreko polimero hitzak «zati asko» esan nahi du. Izan ere, 1 irudian polietilenorako erakusten den bezala, unitate-egitura txiki asko lotu behar izaten dira kimikoki, molekula erraldoi edo makromolekula bat eratu ahal izateko. Horixe da polimeroen ezaugarria: makromolekulak dira, edo beste era batera esateko, pisu molekular handiko substantzia organi-koak. Polimeroak petrolioaren eratorkinak dira, zeren eta petroliotik lor-tzen baitira monomeroak, eta hauetatik abiatuz, polimerizazio erreakzioen

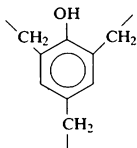


1. irudia. Polietilenoaren unitate-egitura monomerikoa eta kate makromolekularra.

Material plastikoak eta ingurugiroa: polimero biodegradakorrak

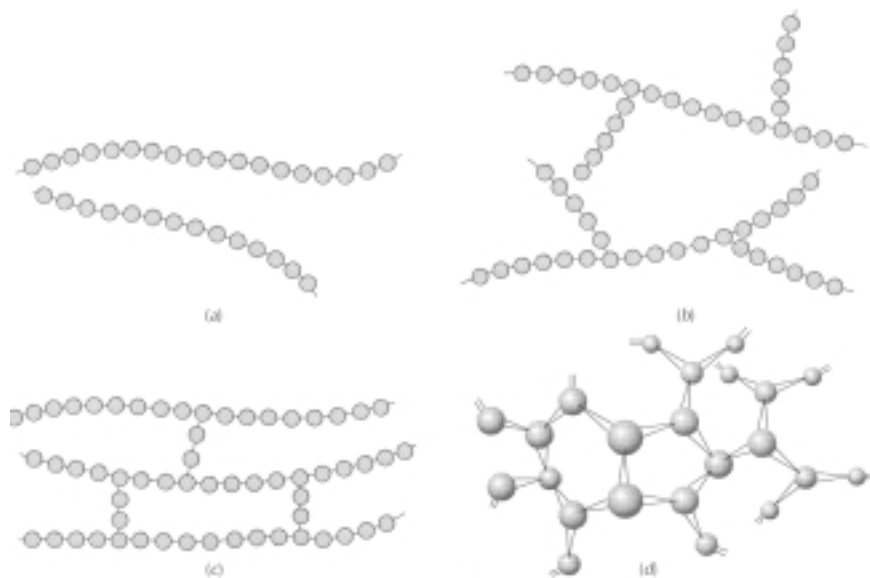
bidez, polimeroak sintetizatzen. Adibidez, etileno monomeroaren polimerizaziotik polietilenoa lortzen da, edo estirenotik poliestirenoa. Beste kasu batzuetan monomeroen funtzio-talde organiko berezietan oinarrituz bideratzen da polimerizazio erreakzioa (polikondentsazioa); esate baterako, azido dikarboxiliko baten eta alkohol baten arteko erreakzioaren bidez poliesterrak sintetizatzen dira.

1. taula. Polimeroen egitura molekularrak.

Unitate-egitura	Polimeroa
$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ -\text{C}-\text{C}- \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	Polietilenoa PE
$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ -\text{C}-\text{C}- \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{Cl} \end{array}$	Polibinilkloruroa PVC
$\begin{array}{c} \text{F} \quad \text{F} \\ \quad \\ -\text{C}-\text{C}- \\ \quad \\ \text{F} \quad \text{F} \end{array}$	Politetrafluoretilenoa PTFE (tefloia)
$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ -\text{C}-\text{C}- \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{CH}_3 \end{array}$	Polipropilenoa PP
$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ -\text{C}-\text{C}- \\ \quad \\ \text{H} \quad \\ \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$	Poliestirenoa PS
$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{CH}_3 \\ \quad \\ -\text{C}-\text{C}- \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{C}=\text{O}-\text{CH}_3 \\ \\ \text{O} \end{array}$	Polimetilmetakrilatoa PMMA
	Fenol-formaldehidoa (Bakelita)
$-\text{N}-\left[\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ -\text{C}- \\ \\ \text{H} \end{array} \right]_6 - \text{N}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\left[\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ -\text{C}- \\ \\ \text{H} \end{array} \right]_4 - \overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-$	Polihexametenadipamida (Nylon 6.6)
$-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{C}_6\text{H}_4-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ -\text{C}-\text{C}-\text{O}- \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	Polietilentereftalatoa (PET)
$-\text{O}-\text{C}_6\text{H}_4-\overset{\text{CH}_3}{\underset{\text{CH}_3}{\text{C}}}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{O}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-$	Polikarbonatoa (PC)

Material polimerikoak historikoki termoplastiko edo termogogorgarri gisa sailkatu izan dira, izaera kimikoan dituzten berezitasunak ezagutu baino askoz lehenago. Termino hauek, polimeroek berotzean eta hoztean jasaten dituzten aldaketa fisikoetan dautza. Termoplastikoen ezaugarriak dira (1) bigunak edo «plastikoak» bilakatzen direla berotzean, (2) moldeatu edo itxura eman dakiekeela presioz plastiko-egoeran daudenean, eta (3) hoztean solidotzen direla moldearen forma gordez. Kasu hauetan, aldaketa erabat fisikoa denez eta aldaketa kimikorik ez dagoenez, prozesua itzulgarria da eta, ondorioz, behin eta berriz errepika daiteke. Prozesuaren errepikatze honek polimeroan deskonposizioa eragin dezake, maila handiago ala txikiagoan. Molekula-mailan makromolekulak linealak dira edo, gehienez, zertxobait adarkatuak. Adibide gisa aipa daitezke hainbat familia: poliolefinak (polietileno PE, polipropileno PP), beste binilikoak (polibinilkloruro PVC, poliestireno PS), poliesterrak (polietilentereftalato PET, polibutilentereftalato PBT), polikarbonatoak PC, nylon edo poliamidak, akrilikoak (polimetil metakrilato PMMA etab.). 1 taulan termoplastiko ohikoenen unitate-egiturak aurkezten dira, haien izendapenarekin batera.

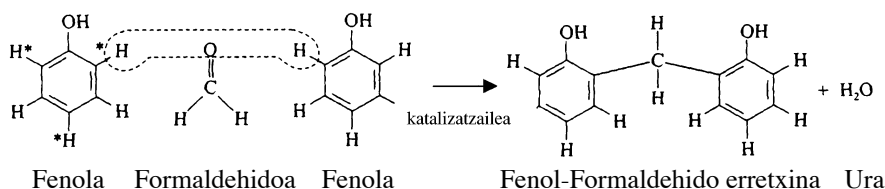
Termogogorgarriak, aldiz, bigundu eta moldea daitezke, eta ondoren gogorraziti berotze prozesu baten bidez. Termogogorgarriak, goi-tenperaturetan degrada daitezkeen solido isuriezina dira (ezin dira likidotu).



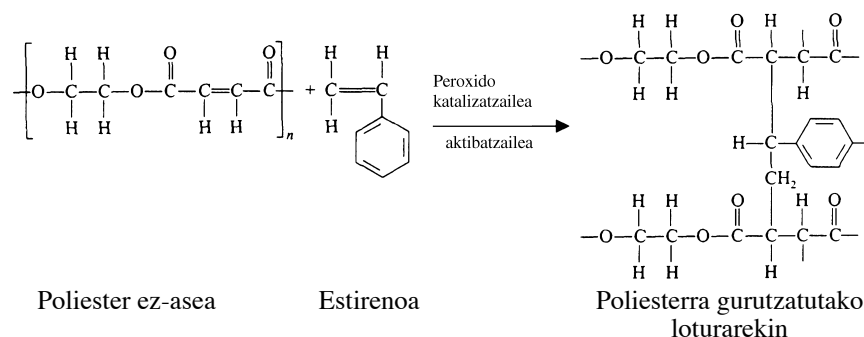
2. irudia. Polimeroen egitura molekularren irudikapen eskematikoak: (a) lineala edo (b) adarkatua, termoplastikoak; (c) gurutzatua, elastomero edo kautxuak; (d) hiru dimentsioko sareduak, termogogorgarriak.

2. taula. Polimero termogogorriak.

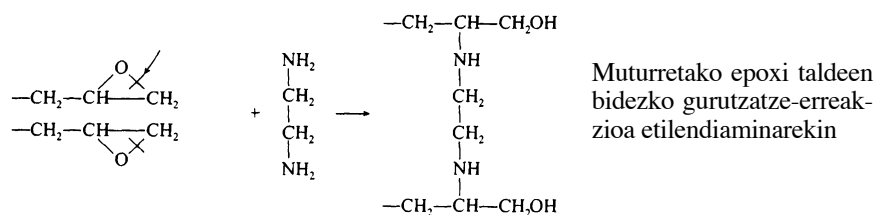
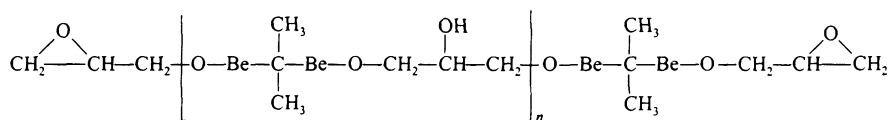
1. Fenol-Formaldehido erretxinak (bakelitik)



2. Poliester asegabeak



3. Epoxiak



Gogortze-prozesua, edo ontzea, gurutzatze esaten zaien erreakzio kimiko itzulezinetan da. 2 taulan polimero termogogorri ezagun batzuen erreakzio kimikoen berri ematen da. Molekula-mailan, polimero termogogorriak makromolekula adarkatuak dira, eta gurutzatze-puntu desberdinetan kimikoki lotuta daude beste antzeko makromolekulekin, hiru dimentsioko sarea eratuz (2 irudia). Termogogorri ezagunen artean aurkitzen

dira epoxiak, fenolikoak, urea-formaldehido, poliuretanoak, eta poliester asegabeak.

Plastikoekin beste sailkapen bat ere egin ohi da. Aurkezten duten kostu/propietate performantziaren arabera, plastiko arruntak (*commodity*) eta teknikoak (ingeniaritzakoak) dauzkagu. Plastiko berriak agertzen diren heinean, azpisailkapenak ere egiten dira: erresistentzia altuko plastikoak, funtzionalak, etab. Plastiko arruntak merkeak eta erabilera oso hedatukoak dira. Teknikoak, berriz, erresistentzia mekaniko, kimiko eta termiko handiak izateko diseinatu direlarik, arruntak baino garestiagoak izaten dira eta aplikazio bereziagoetan erabiltzen dira.

PLASTIKOEN BIRZIKLAPENA

Papera da hondakin solidoen joan-etorrian kopuru handienean sartzen den osagaia (%40, pisuan). Metalak, plastikoak, beirak eta elikagaiak atzetik datoz (%7-9, pisuan). Bolumenean kopuru hauek zertxobait desberdinak dira. Hala, paperaren ehunekoa %34ra jaisten da, eta plastikoarena, aldiz, %15-20ra igo. Hondakin solidoek, zaborrek, lurzoruan amaitzen dutela kontuan izanda, zabortegeien edukiera bolumenean zehaztu behar izaten da. Material plastikoek okupatzen duten bolumen handia dela eta, plastikoaren industria ingurugiroaz kezkatzen diren guztien ikusmiran egon da eta dago.

Hondakin solido guztien artean, elikagaiak kenduta, plastikoak da oraindik ere gutxien berreskuratzen edo birziklatzen dena. Laurogeita hamarren hamarkadaren hasieran, papera eta aluminioa nahiko berreskuratzen ziren garaian (%30), baita beira ere (%12), plastikoaren birziklapena ez zen %1era ere iristen. Gaurko egoerak hobera egin du, baina hala ere, birziklatzen den plastikozko hondakinen kopurua oso txikia izaten da. Datu hauek arazo handia dakarkiete plastikoaren industriari, indartu besterik ez baitute egiten honako ideia arrunt ongi hedatutako hau, plastikoak ezin direla birziklatu. Joera gero eta plastiko gehiago birziklatzekoa da, ezbairik gabe, baina aurrerakuntzak erakundeen eta industri elkarteen eskutik ez badatoz (lege-erregulazioekin alde batetik, eta hezkuntza eta ikerketa-programen garapenarekin, bestetik), nekez egingo du egoerak hobera.

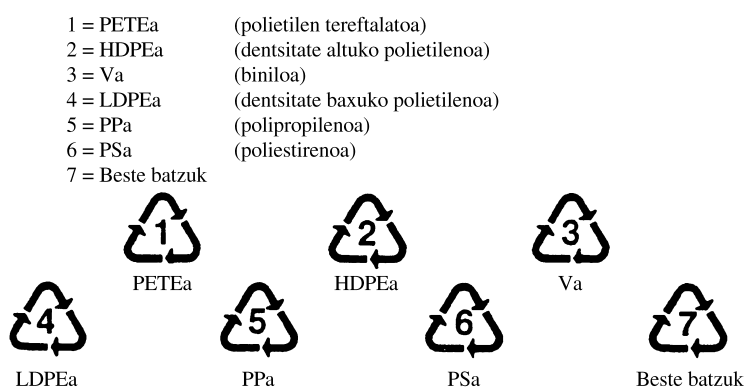
Azken urteotan, birziklapen-programak, bildukietan eta botila zein ontzietan erabiltzen diren plastikoei zuzendu zaie batik bat (enpaketatzeko plastikoak esango diegu). Arrazoi garrantzitsu bat dago honetarako: erabilera hauek hartzen dituzten plastikoek urte bat baino bizitza laburragoa dute (pentsa dezagun polietilen tereftalatozko ur-botiletan, edo polietileno-zko esne-botila edo elikagaiak babesteko bildukietan), eta gure gizartean oso erabilera hedatua dutenez, zabor kopuru handiak sortzen dituzte. Hondakinek lurzoruan amaitzen dute. Existitzen diren zabortegeien edukiera

mugatua denez, birziklapen-programa gehiago jarri behar da indarrean, arazoa handiagotu nahi ez bada bederen.

Enpaketatzeko plastikoak «plastiko arruntak» izan ohi dira; hau da, polimero termoplastiko merkeak, erabilera askotakoak. Enpaketatzeko merkaturua honako sei polimeroen artean banatzen da: PET, PE (HDPE eta LDPE), PP, PVC eta PS izenekoak. Gure gizarteko etxeetara ailegatzen zaizkigun ur, esne, detergente eta abarretarako plastikozko ontzi eta botilak, supermerkatuko plastikozko poltsak, edota elikagaietarako bildukiak, plastiko arrunt hauekin fabrikatzen dira.

Baina, goian esan bezala, badira beste plastiko batzuk, besteak baino «teknikoagoak» enpaketatzearen eremu honetan ere sartzen direnak: ABS, akrilikoak, nylonak, polikarbonatoa, fenolikoak, poliuretanoak, poliester ase zein asegabeak, etab. aipa daitezke hemen. Bizi-iraupen luzeagoa eskatzen duten aplikazioetan erabiltzen dira. Produktu iraugarri modura erabiltzen direla esango dugu; adibidez, ekipamendu elektrikoetan, edo konputagailu, telebista, edo iratiarentzako egitura-elementuetan, edo altzarietan, edo etxetresnetan (arropa-garbigailu, lehorgailu, hozkailu...), edo erremin-tetan, edo aisialdirako ekipoetan etab. Produktu iraugarriak dira baita eraikuntzan eta automobilaren industrian erabiltzen diren plastikoak ere. Hauek ez doaz zuzenean lurzorura. Adibidez, automozioan beste materialekin konbinatuta egoten dira (garraioko ibilgailuen parteak, kolpeleungailuak adibidez), eta hori dela kausa, zabortegetara eraman ahal izateko, bestelako materialetatik askatu behar izaten dira lehenik. Hala ere, produktu iraugarrien birziklapenak ez du, oraino, behar duen arreta jaso, eta hobetu beharreko beste arlo baten aurrean gaude.

PETa edo HDPEa identifikatzea (ur-botiletan eta esne-botiletan erabiltzen dira, hurrenez hurren) ez da inola ere zaila (3 irudia). Bestalde, material



3. irudia. Birziklapenerako plastikoen kodetze eta etiketatzea.

hauek propietate onak dituzte. Hala, ez da harrigarria ikustea haiek berreskuratzeko planak jadanik abiatuak direla hainbat tokitan. Dena den, beste-lako plastikoen kasuan arazo gehiago daude. Plastikoa birziklatzeko orduan arazo nagusia honakoa da: bildu, sailkatu, eta berriz ere erabili ahal izateko azpiegitura antolatu baten barnean ipini behar dela prozesu osoa.

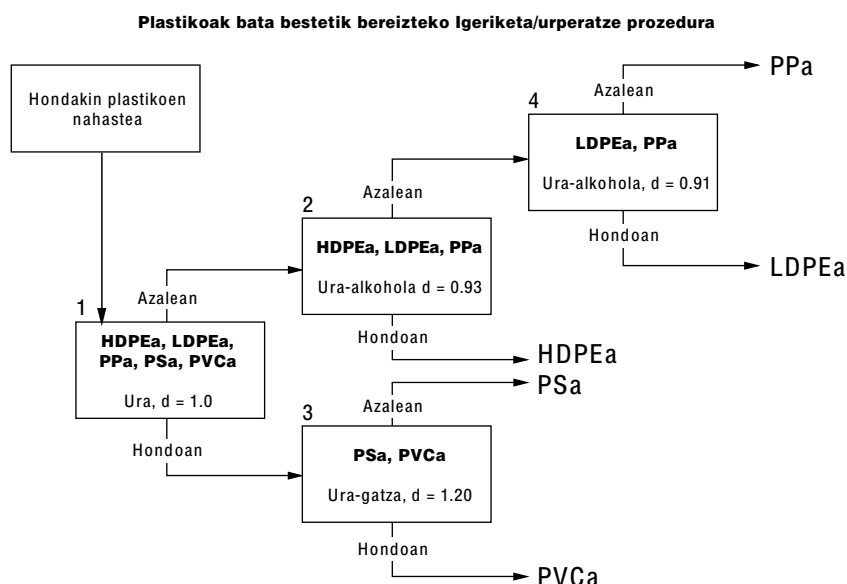
Gaur egun estatu eta elkargo askok programak abiatu dituzte material plastikoak berreskuratzeko. Toki garatuenetan plastikoak banan-banan biltzeko edukiontzia izan ohi dira (PET eta HDPEaren kasua, esate baterako). Besteetan, plastiko bakoitzak ez du bere edukiontzi berezia izaten. Adibidez, Euskal Herriko hiri eta herri gehienetan etxeko zabor solidoak edukiontzi desberdinetan era honetan biltzen eta sailkatzen ditugu: berdean beira, urdinean papera, horian metala eta plastikoa; beste aldetik, pilak.

Edukiontzi berezietan jasotzeko aukera plastiko gutxirekin egin daiteke praktikan. Alde batetik, azpiegitura oso baten beharra dago birziklatutako produktu horiek ahalik eta garbien (ezpurutasun kantitate txikienarekin) berriz erabili ahal izateko. Printzipioz polimero termoplastiko guztiak (PET eta HDPE barne) likidotu eta berriz solidotuz hainbat produktutan eralda daitezke: moldeatutako piezak, zuntzak, filmak etab. Arazoa da birziklapen-teknologiak aski garatuta egon behar duela, birziklatutako materialarekin egindako produktuak propietate egokiak izan ditzan. Gainera, ekonomikoki bideragarria atera behar du prozesuak. Adibidez, New York hirian PS-zko edari-basoak birziklatzeko kanpaina egokia egin eta gero, enpresa pribatu batek erabilitako basoak bildu, garbitu, eta erretxina berriarekin nahastuz, berriz ere propietate egokidun basoak egiten ditu [1]. Birziklapen prozesua antolatzea eta abiaraztea posible da, kasu honetan, kontsumitzaile kopuru handia dagoen hiri handi batean afera ekonomikoki bideragarria gertatu delako. PETaren bilketa hautatua bultzatu izan den tokietan, PET birziklatuak, azkenean, zuntzak, filmak edota moldeatutako produktuak egiteko balio izan du. Poliestireno espanditua birziklatzeko programak ere ezagutzen dira. Gaur egun termoplastikozko ontzi zurrunen birziklapena ere bultzatu nahi da.

Polimero termogogorgarrizko birziklapen-produktuen erabilera desberdina da. Polimero hauek likido-egoerara ezin eralda daitezkeenez, txikitu egin behar izaten dira (neurriko legar-tamaina bateraino) eta ondoren, betegarri edo indargarri modura erabili. Horretarako erretxinarekin nahasten dira portzentai egokian (fenolikoek, esate baterako, birziklatutako %10 eraman dezakete osagarri gisa, erabilerarako kalterik gabe).

Hala ere, errazagoa da mota desberdinen sailkapena gerorako utzi eta plastiko guztiak, denak elkarrekin, edukiontzi batera eramatea edo, gure hiri eta herrietan gertatzen den bezala, plastikoak eta metalak elkarrekin biltzea. Kasu honetan, lehenik, plastikoak eta metala bata bestetik bereiztu behar dira. Hainbat teknika erabil daitezke honetarako. Plastikoa beren artean ba-

natzeko erraza eta eraginkorra den bat urperatze/igeriketarena da (4 irudia). Dentsitate desberdineko plastikoak selektiboki banatu daitezke, batzuk igerian geratzen diren bitartean beste batzuk urperatu egiten baitira. Irudian HDPE, LDPE, PP, PS eta PVC plastikoak bereizteko urperatze/igeriketa metodoa ageri da. Erraz identifika daitezkeen plastikoak alboan utzita, zaborrean gelditzen den plastikoen nahastetik abiatuta ere produktu erabilgarriak egin litezke. Edonola, hauetatik abiatuta egin daitezkeen gauzak eskasagoak dira. Aukera hau hasi da toki batzuetan bideratzen, eta birziklapen-joeretan gorakada garrantzitsua ekar dezake.



4. irudia. Plastikoak bata bestetik bereizteko igeriketa/urperatze prozedura.

ERRAUSKETA

Baldintza batzuetan, plastikoen birziklapena baino gehiago, errausketa izan daiteke aukera erakargarriagoa. Poliolefinek adibidez balio handia dute, haietatik era garbian erraz lor daitezkeelako erregaiak (albo-produktu gisa soilik ura eta karbono dioxidoa bezalako lurrin ez-kaltegarriak eratzen dituzte). Beste polimero batzuek arazo gehiago izaten dituzte errausketaren aurrean. PVCaren errekontzak, adibidez, ke korrosibo eta toxikoak askatzen ditu; hauek depurazioa behar izaten dute eta hondakinak uzten dituzte. Gainera, polimero honetatik lortzen den erregai kopurua txikiagoa izaten da. Beste polimeroek ere arazoak izaten dituzte albo-produktuekin. Gaine-

ra, polimeroen nahasteek, errausketa eragiketarako estrategiak zailtzen dituzte. Birziklapen estrategiak inplementatzen dauden bitartean, errausketa toki askotan erabiliko da, hainbat abantaila baititu oraindik.

Hirurogeita hamar eta laurogeita hamarreko hamarkadetan, ikerketa eta garapeneko programa bereziak burutu ziren pirolisiaren eremuan. Helburua zen, hondakin plastikoetatik abiatuz pisu molekular behereko produktu kimiko erabilgarriak eta erregaiak lortzea: argizariak, gantzak, fuel-olioak etab. Adibidez (ikerketa-programa planta pilotuan zegoeneko datuak dira hauek, Alemanian), pirolisi kontrolatuaren bidez, etxeko plastikozko hondakinetatik abiatuta (%67 poliolefinak, %1,7 PVC, %1,0 PS; gainontzekoa papera, metalak, harea etab. dira) metanoa, etilenoa, bentzenoa, toluenoa eta ikatzezko beltza lortu ziren produktu nagusi gisa [2]. Beste polimero batzuekin ere despolimerizazio prozesuak burutu izan dira termikoki. Adibidez PMMA goi-tenperaturetan ipini eta %99 purutasuneko monomeroa lortu izan da, destilatu eta gero.

DEGRADAZIOA

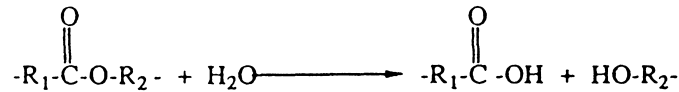
Polimero asko makromolekula izatetik pisu molekular behereko substantzia izatera igaro daitezke deskonposizio termikoa edo kimikoa dela medio. Hau da, polimeroak degradatu egiten dira. Hala ere, gehienetan, baldintza bereziak behar izaten dituzte degradazio-erreakzioak bideratu ahal izateko: ingurune kimiko egokia, tenperatura, presioa, katalizatzaileak etab. Beste kasu batzuetan ingurune biofisiko arruntetan deskonposa daitezke polimeroak (polimero biodegradakorrak).

Polimeroen degradazioak kate nagusiko lotura kimikoen apurketa eskatzen du. Lehen aipatu dugu PMMAren despolimerizazio prozesua monomenoraino burutu daitekeela termikoki. Poliesterak, Nylon eta bestelako termoplastikoak, polimero termoeogonkorak ere bai, ingurune egokian ipiniz gero, lotura kimikoak apurtu eta monomerora itzulkorak gertatzen dira. Honez gero, degradakorrak izan daitezke, baina ez biodegradakorrak.

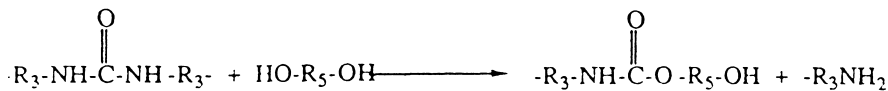
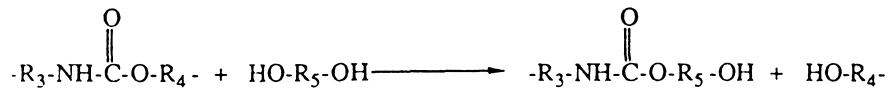
Polimeroak degradatzeko aukera batzuk 3 taulan zehazten dira. Har dezagun PETaren kasua, adibide gisa. PETa ur-soberan 150-250 °C-ko goi-tenperaturan eta sodio azetato katalizatzailearen presentzian tratatzen baldin bada, gai da azido tereftalikoan eta etilenglikolean guztiz deskonposatzeko lau orduan. Hidrolisirako katalizatzaileak azidoak (sulfurikoa) ala basikoak (amonio hidroxidoa) izan daitezke. Katalizatzaile azidoek 60-90 °C-tan hidrolisia eragin dezakete 10-30 minutuan. PETa, bestalde, metanol-soberan eta katalizatzaile egoki baten presentzian ipintzen baldin bada, metanolisi prozesua gertatzen da.

3. taula. Polimeroen degradazioa.

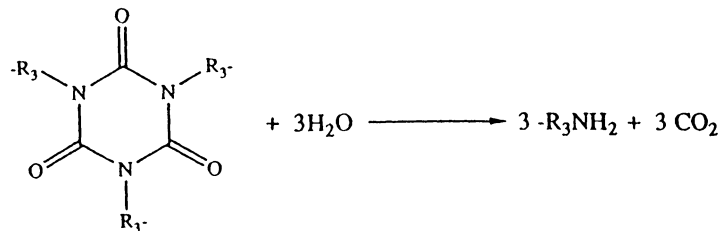
Hidrolisia



Glikolisia



Termogogorgarrien degradazioa (hidrolisia)



Ohiko metanolisi prozesuan, PETa metanolarekin nahastu, katalizatzaile bat ipini eta 160-240 °C-tara berotuz 20-70 atm presiopean %99 monomero lortzen da ordu bat baino denbora laburragoan. Hoechst Celanese, adibidez, metanolisi prozesu bat erabiltzen du birziklatutako PETa despolimerizatzeko; ondoren, monomerotik abiatuz, polimerizazioa berriz burutu eta, elikagaiekin ukipenean egongo diren aplikazioetan erabiltzeko polimeroa lortzen da. Beste multinazionalak ere (Eastman Chemical, Du Pont...) horretan dihardute [3].

PETa edo birziklatutako PETa, ura edo metanolean ipini ordez, glikol baten presentzian ipiniz gero, transesterifikazio prozesuaren bidez despolimeriza daiteke. Glikolisi prozesuan PETak, katalizatzaile baten presentzian, polipropilenglikolarekin (adibidez) erreakzionatu eta pisu molekular beheko substantziak lortzen dira, funtsean bis-hidroxietyl tereftalatoa eta bis-hidroxi-propil tereftalatoa, gehi etilenglikol eta propilenglikol zerbait. Glikolisia zortzi orduan burutzen ohi da 200 °C-tan PG/PET 1,5:1 erlazioarekin.

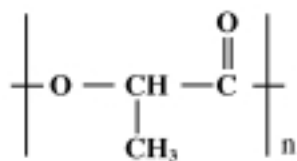
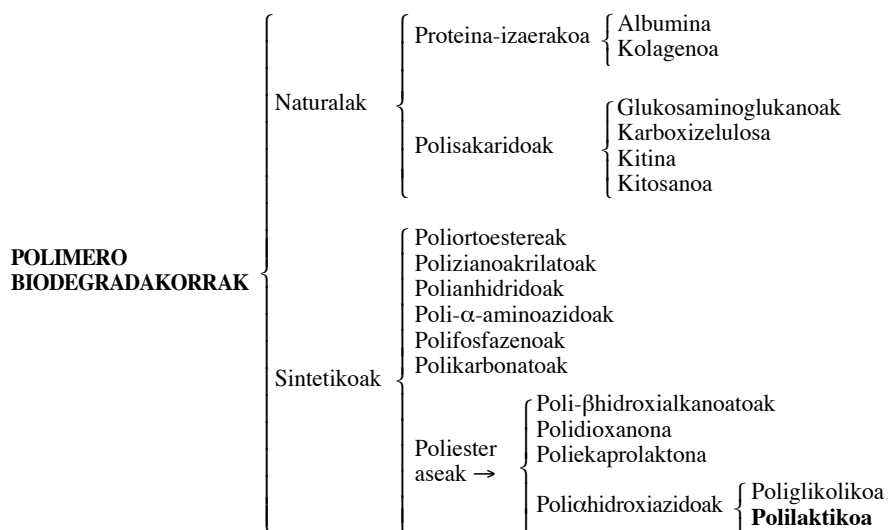
Termoplastikoak ez ezik, polimero termogogorgarriak ere degradaraz daitezke pisu molekular beheko substantziataraino. Karbonilo funtzio-

-taldeak dituzten polimero-kateak hidrolisi edota glikolisi-prozesuen bidez apurtu daitezke, esate baterako. PETa bezalako poliesterretan hidrolisiak itzulgarria den polimerizazio-erreakzioa aurkako norabidean ipintzen du soilik, despolimerizazioaren norantzan alegia. Poliuretanoetan, berriz, egoera zerbait korapilotsuagoa da. Izan ere, polimeroaren kate nagusian parte hartzen duen blokeetako bat, isozianato monomeroa alegia, ez da zuzenean lortzen. Lortzen dena isozianatoaren urarekiko erreakzioaren produktua da (diamina), zeina poliolarekin batera agertuko den, albo-produktu gisa CO₂ emanaz. Nahi izanez gero, posible da diaminatik isozianatoa lortzea ere, beste urrats batean. Poliuretanozko produktu termogogorrien degradazio kimikoa, poliuretano linealetan bezala, hidrolisi bidez bidera daiteke. Desabantailarik handiena, berriz ere, despolimerizazioa burutu eta gero diamina eta poliola bata bestetik banatu beharrean datza.

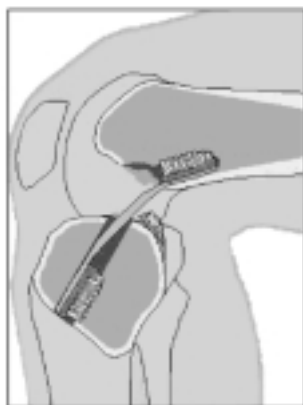
POLIMERO BIODEGRADAKORRAK

Biodegradazioa degradazio edo despolimerizazioaren kasu berezia da. Baldintza biofisiko arruntetan degradatzeko gai den polimeroari polimero biodegradakor esaten zaio. Polimero sintetiko biodegradakorrak berriki agertu dira merkatuan, baina oso garestiak direnez, momentuko, erabilera mugatua dute: aplikazio berezietan erabiltzen dira, batez ere medikuntzan (hezur-, tendoi- zein muskulu- ehunen hausturak finkatzeko adibidez, edo sendagaien askapen kontrolatua egiteko). Medikuntzan erabili ahal izateko polimero batek biodegradakor izateaz gain bioirentsigarria ere izan behar du, hau da, polimeroak, lehenik, giza gorputzarekin bateragarria behar du, denbora batean bere funtzioa bete (adibidez haustura bat finkatzeko erresistentzia mekanikoa egokia izan) eta ondoren degradatu egin behar du organismoarentzako asimilagarriak diren produktuetan, osasunerako kalterik gabe. Aplikazio hauetan erabiltzeko, nabarmena da polimero biodegradakorren abantaila beste materialen aurrean; izan ere, hausturak finkatzeko ebakuntzetan, ezarritako torloju, iltze eta abarrak (maiz, metalikoak), haustura osatu delarik kendu behar izaten dira, eta horretarako beste ebakuntza bat egin ohi da. Polimero biodegradakorren sailkapena, biodegradazio prozesua eta haietako baten aplikazio posible bat 5 irudian biltzen dira.

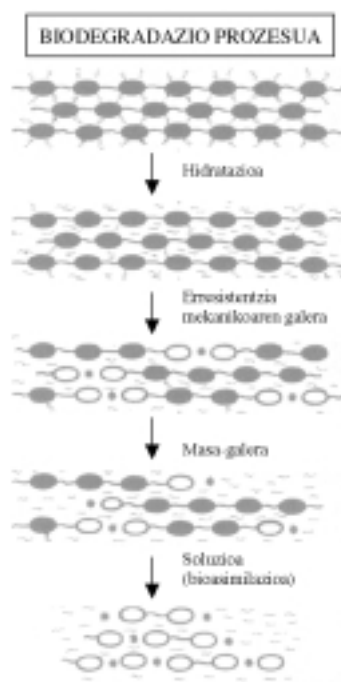
Jatorriari begiratu polimero biodegradakorrak bitan sailkatzen dira: naturalak eta sintetikoak. Polimero biodegradakor naturalen adibide bezala har dezagun kolagenoa. Kolagenoa ardiaren hestearen azpiko mukosatik edo behiaren hesteko ehun konjuntibotik lortzen da. «Catgut» izeneko materialaren osagaia da kolagenoa; urtetan, josturetan erabilitako material bakarra. «Catgut»-a organismoaren barnean nahiko azkar desegiten da. Horregatik bere azala kromoarekin estaltzeko joera izan da nagusi, josturak bere erresistentzia mekanikoa hain azkar gal ez dezan.



Azido polilaktikoaren egitura-unitatea



Erabilera



5. irudia. Goian: polimero biodegradakorrak; behean: azido polilaktikoaren egitura-unitatea, biodegradazio prozesua eta polilaktikozko torlojuekin finkatutako tenoi errotulianoaren txertaketa belaunean.

Gaur egun, haren ordeztan, polimero sintetikoak erabiltzen dira. Polies-terren taldeko azido polilaktikoa (edo polilaktidea) hartuko dugu adibide gisa. Polilaktidea erresistentzia mekaniko eta zurruntasun oneko polimero termoplastikoa da. Birrirensteko denbora nahiko luzea behar du. Horregatik, josturak bakarrik ez, zamak jasateko pieza bioirentsigarriak diseina daitezke material honekin [4]. Degradazio prozesua lau urratsetan adieraz genezake: 1. Hidratazioa 2. Erresistentzia mekanikoaren galera 3. Masa-galera 4. Soluzioa (bioasimilazioa).

Medikuntzako aplikazioetan gero eta gehiago erabiltzen ari diren poli-mero biodegradakor hauen garrantzia oso handia izan daiteke ingurumena-rekiko kalteak murrizteko orduan, beren erabilera hedapen handiko ere-muetara hedatzen baldin bada bereziki. Elikagaietarako filmak egiteko, adibidez, jadanik aurkeztu dute polilaktikozko material merke baten aukera merkatuan [5]. Eco-PLA esaten diote, eta material ekologiko gisa saltzen ari dira etxe komertzialeko marketing-arduradunak. Orain arte polietilenoak eta polipropilenoak betetzen zuten bildukien merkatuan hauekin lehiatzera sartuko da polilaktikoa, baina polimero biodegradakorra dela kontuan izani- nik, zabortegei batean ipinitakoan denbora aurrera joan ahala degradatu egingo da produktu kutsakorrik utzi gabe, polietilenoa eta polipropilenoa ez bezala. Bestelako produktuekin ere baliteke joera honek aurrera egitea, plastiko biodegradakorreko piezak ekoitz baitaitezke beste eremuetan ere. Produktu iraungarrien kasuan zailagoa izan arren, ordezkapenerako oinarri zientifikoak ipinita daude. Hala ere, praktikan, hainbat oztopo gainditu be- harko dira.

BIBLIOGRAFIA

- [1] R.J. EHRIG. 1992. *Plastics Recycling*, Hanser ed., 9. orr.
- [2] *Ib.* 11. orr.
- [3] *Ib.* 59. orr.
- [4] HOFMANN, G.D., WAGNER, F.D. 1993. «New implants designs for bioresorba- ble devices in orthopaedic surgery». *Clinical Materials*, **14**, 207-215.
- [5] *European Plastics News*, Technology, Feb. 2000, 19.