

Polimero biodegradakorrak eta jangarriak jaki-ontzi eta bildukietarako

I. Olabarrieta eta J. R. Sarasua

Euskal Herriko Unibertsitatea
Meatz eta Metalurgi Ingeniaritza eta Materialen Zientziaren Saila
Ingeniarien Goi Eskola
48013 BILBO
e-mail: iipsaoij@bi.ehu.es

Laburpena: Plastikozko ontzi eta bildukiak gero eta gehiago erabiltzen dira janariak babestu eta txukun aurkezteko. Erabili eta botatzekoak dira edo, bestela, erabilgarri irauten duten denbora oso laburra izaten da. Nolanahi ere, gehienetan lurzoruan amaitzen dute zabor gisa. Plastikoez beste materialek baino toki gehiago bete ohi dute zabortegietan eta, ia inolako aldaketarik jasan gabe bertan denbora oso luzez (zenbait hamarkada) irauten dutenez, degradaezintzat ditugu. Hondakinak gero eta ugariagoak dira eta haiek pilatzeko zabortegien ahalmena murriztuz doa. Hala, ontzi eta bildukietako plastikozko zaborren kudeaketa arazo garrantzitsutzat har dezakegu. Lan honetan, ingurumen-arazo honi konponbide bat ekar diezaiokeen polimero biodegradakorrak erabiltzea proposatzen da. Gaia nahiko berria denez, material berri hauek hobeto ezautzeko eta izan dezaketen garrantziaz ohartzeko ezinbestekoak diren hainbat gai aztertzen dira: plastikoak eta ingurumena, lehengai berriztagarriak, polimero biodegradakorrak eta jangarrien egungo garapen mailak, eta janarietarako bilduki eta ontzietarako beharrezkoak diren materialen ezaugarriak.

PLASTIKOAK ETA INGURUMENA

Plastikoez onarpen zabala dute janari eta edarietako ontzi eta bildukiak ekoizten dituzten enbase eta enbalatzeko industriaren aldetik. Beira, papera, metalak..., duela ez hainbeste gehiago erabiltzen ziren materialak jadanik ordezkatu dituzte erabilera askotan. Izan ere oso erakargarriak dira polimeroek dituzten hainbat propietate, adibidez: tolesgarritasuna, zailtasun mekanikoa, arintasuna, ekoizteko erraztasuna, erabiltzeko erosotasuna, inprimagarritasuna, egonkortasun kimikoa eta prezio egokia.

Plastikozko ontziek oro har oso egokiro babesten dute beren barnean biltzen duten produktua. Oso merke fabrikatzen dira eta badirudi betiko

irauten dutela. Baina plastiko batzuen iraungarritasuna oinarritzko propietatea bada kasu batzuetan, esate baterako, automobilentzako piezetarako, kontuan hartu behar da ontzi eta bildukietako plastikoak erabili eta botatze-koak direla, edo gehienera jota, bizitza laburrekoak. Kasu hauetan betiko iraungarritasun horrek ingurumen-arazoa dakar bere baitan zeren, oro har, plastiko sintetikoak, material organiko gehientsuenak ez bezala, nekez edo batere ez baitira degradatzen mikrobioen presentzian.



(a)



(b)

1. irudia. Plastikozko ontzi eta bildukiak erabiltzen dira egun janariak babeseko eta aurkezteko

(a) Fruituak, barazkiak eta gazta (b) Ogitartekoa

Azken 25 urteotan plastikoen erabilpenak izan duen gorakada mehatxu bihurtu da ingurumenerako. Arazoari, bere neurriko larritasuna edukiatik ere, aurre egin behar zaio. Egun, plastikozko zaborrak tratatzeko bide ohikoenak dira errausketa, birziklapena eta lurzoruko zabortegiratzea. Errausketak abantaila batzuk baditu plastikoen balio kaloriko handia dela-eta, baina errausketako lantegi gehienek gas toxikoak askatzen dituzte. Birziklapena aukera ona da, baina zailtasunak daude plastikoak bata bestetik bakantzeko eta identifikatzeko arazoengatik batik bat. Gainera, legedi berriak debekatu egiten du birziklatutako plastikoak eta plastiko sortu berriak nahastea janari-ontzi eta bildukietako produktuak ekoizteko. Arrazoi horiek guztiak tartean, plastiko gehienek zabor modura amaitzen dute lurzoruetan, eta bertan arazo nagusia haien degradakortasun eza da.

Beraz, gero eta argiago antzematen da plastikoekin, hondakin gisa ditzuten arazoak gainditzeko, ildo berrietatik abiatu beharra dagoela. Ekimen berriek ingurumenerako lagungarriak eta ekonomikoki bideragarriak izan behar dute. Testuinguru honetan janariak gordetzeko ontziak eta haiek babesteko bildukien industriarako polimero biodegradakorrak sortzea aurreikusitako dugu jadanik [1].

LEHENGAI BERRIZTAGARRIAK

Plastiko ezagun gehienak petrolioaren eratorkinak dira, eta petrolio ez da lehengai berriztagarria. Hala, lehenik, ingurugiroaren ikuspegitik eskuragarriak diren lehengai berriztagarriak zeintzuk izan daitezkeen aztertuko dugu.

Bi dira egun lehengai berriztagarriak izateko alor interesgarrienak: biomasa-hornidurak (garau-uztak) eta jaki-industriako hondakinak. Azken alor honek du etorkizun erakargarria izateko aukera gehien. Izan ere onura bikoitza ekartzen du, alde batetik, oso merkea baita eta, bestetik, ingurumeneko beste arazo bati konponbidea ematen baitio (zaborretako hondakin hauek produktu erabilgarri bihurtzen ditu). Industriako solido-hondakinez libratzea ez da erraza eta garestia izan daiteke. Baina, ontziak eta bildukiak ekoizteko, jaki-industriaren zaborrak erabiliko balira lehengai gisa, zabor organiko kopuruak, oro har, behera egingo luke, eta zaborrak tratatzeko lanak ere merkatuko lirakeke. Azkenik, ez da ahaztu behar amaierako produktuak (ontzia edo bildukia) biodegradakorra izaten jarraitzen duela.

Lehengai berriztagarrien kategoria honetan sartzen diren material garrantzitsuenetariko bi dira esne-gazura eta kitosanoa [2]. Biak dira biopolimeroak eta industri prozesuetan albo-produktu edo eratorri bezala ager-

tzen dira, kopuru handian. Nahiz eta beste hainbat aplikaziotan erabili, oraindik ere, material hauek kopuru handietan baztertu ohi dira zabor gisa. Esate baterako, gazura-proteinaren lehengaiak gazura likidoa da, zeina gazta- eta bestelako esneki-ekoizpenen azpiekoizkina den; badirudi egun ekoizten den gazura-proteinaren ehuneko berrogeita hamarra ere ez dela berreskuratzen eta zaborreratu egiten dela. Bestetik, azken urteotan kitosanoarekiko interesa piztu da arrain-industriak botatzen dituen soberakin handiei, itsaskien oskolei, irtenbide bat emateko asmoz. Hala ere, beste material ohikoagoen aldean, kitosanoaren prozesatze-propietateak nahiko ezezagunak dira.

POLIMERO BIODEGRADAKORRAK ETA JANGARRIAK

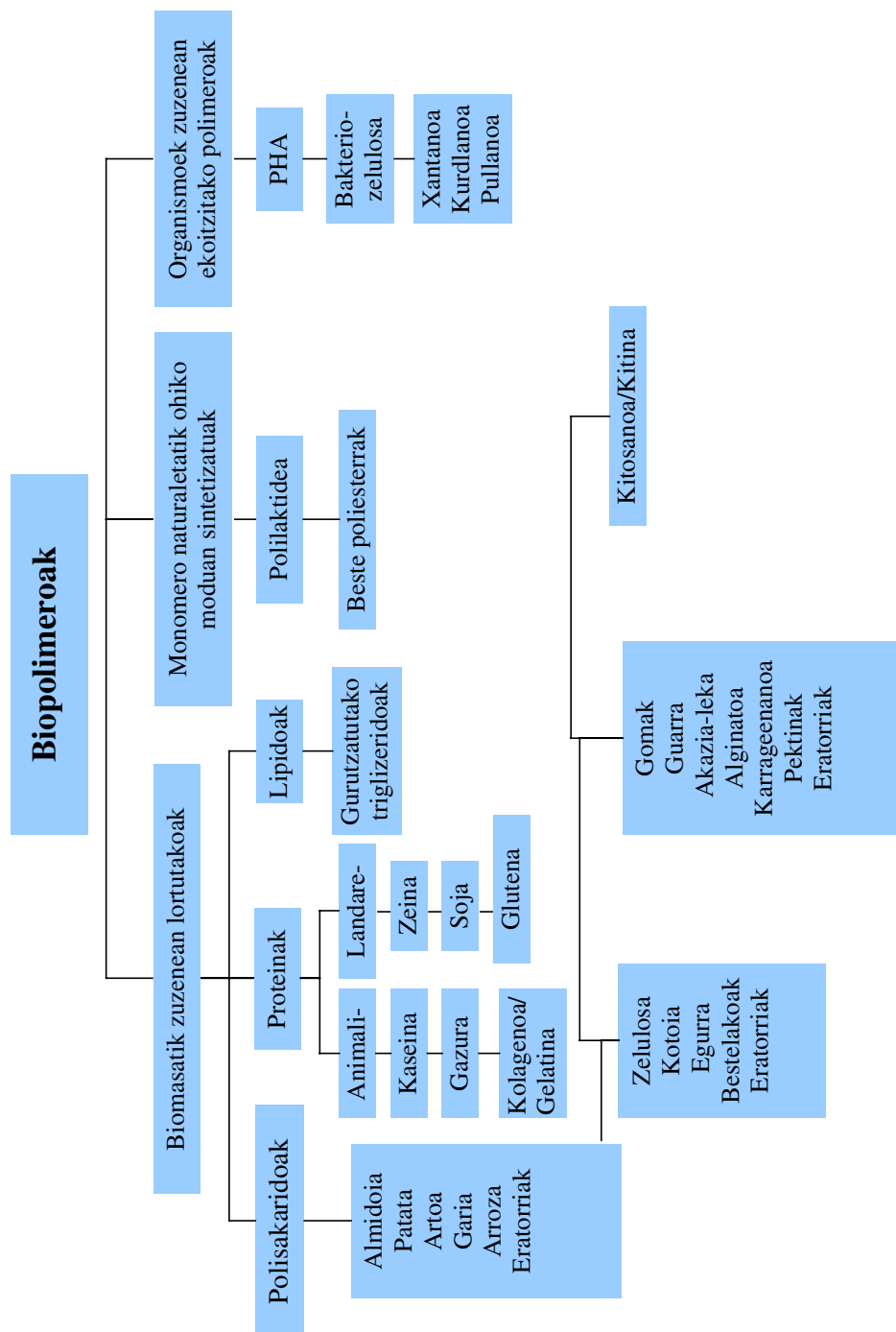
Polimeroak biodegradakorrak direla esaten da baldin eta konpostatze-prozesuetan mikroorganismoen edota entzimen ekintzaz makromolekulak apurtu (degradatu) eta erabat eralda badaitezke produktu naturalak emanez (karbono dioxidoa, ura, metanoa eta biomasa) [3].

Polimero jangarriak osasunari inolako kalterik eragin gabe jan daitezkeenak dira. Polimero jangarriak erabili ahal izateko, baita janariekin ukipenean egongo diren plastiko ez-jangarriak ere, AEBko *Food and Drug Administration* (FDA)-aren edo EBko legeriaren agindupeko *Generally Recognised As Safe* (GRAS) izendapena jaso behar du [4].

Polimero biodegradakorrak honako hauek izan daitezke: (1) *Naturalak edo biopolimeroak*: baliabide berriztagarri edo naturaletatik eratorritakoak (animalia, landare, bakterio edo beste izaki biologikoetakoak), (2) *Fosilak edo ez-berriztagarriak*: petroliotik sintetikoki ekoiztitakoak.

Polimero batzuen eta besteen biodegradatzeko abiadura desberdina da oso, kasu batzuetan soilik zenbait ordu iraun baitezake prozesuak, eta besteetan, aldiz, polimeroaren izaera molekularren arabera, hainbat urte [5]. Degradazio-prozesuetan molekulen luzera laburtu eta polimeroen pisu molekularra txikitu egiten da makromolekuletan gertatzen diren lotura-apurketen ondorioz. Bestetik, polimeroen aldaketa kimikoen ondorioz, material plastikoaren biodegradazioaren abiadura murrizten da askotan, aldaketek oro har egitura egonkorragoak ekartzen baitituzte eta, hala, degradazioa hasteko ingurune egokiago edo bortitzagoa behar izaten da.

Polimero sintetikoek dagokienez, polimero-ekoizleek hainbat aukera dituzte material konpostagarriak ekoizteko. Kondentsazioko polimero sintetikoak maila desberdinetan dira biodegradagarriak. Arau orokor gisa, polimero hauen degradazio-abiadura 1 taulan ageri diren aldagaien arabera da [7].



2. irudia. Biopolimeroen sailkapena beren jatorria eta ekoizpen-metodoak oinarritzat hartuta [6].

1. taula. Polimero sintetikoen degradazio-abiadura zenbait aldagaien arabera

— Makromolekulen funtzio-talde kimikoak
• ester > eter > amida > uretano
— Egitura/Morfologia
• amorfoa > kristalinoa
— Pisu molekularra
• txikiagoa > handiagoa
— Urarekiko portaera
• hidrofilikoa > hidrofobikoa
(Hala ere, polimeroa uretan disolbakorra izateak ez du halaberrez esan nahi biodegradakorra denik).

Polimero sintetiko arrunt ez-biodegradakorren eremu beretan erabil daitezke polimero biodegradakorrak. Hala, material hauetarako eskakizunak honako hauek dira [8]: (1) urtutako egoeran prozesatu ahal izatea, (2) urarekiko iragazgaitzak izatea, (3) erabilpen arrunta dutelarik osotasuna mantentzea baina ingurune biologiko aberatsetan degradatzea.

Biopolimeroen eta bestelako polimero biodegradakorren propietateak, lehengaien arabekoak ez ezik, eraman ohi dituzten gehigarri eta ekoizpen-prozesuetan jasaten dituzten aldaketa kimikoen arabekoak dira [9]. Film biodegradakorren ezaugarriak finkatzeko ur-lurrunarekiko eta oxigenoarekiko iragazkortasunak, eta hausturarekiko erresistentzia eta deformatasuna bezalako propietate mekanikoak dira garrantzitsuenak zerbitzuko portaera finkatzeko.

POLIMERO BIODEGRADAKORRAK ETA JANGARRIAK ELIKAGAI-BILDUKIETARAKO: ESNE-GAZURA ETA KITOSANOA

Elikagai gehienak, fresko zein prozesatuak, nolabaiteko ontzi edo bildukietan aurkezten zaizkio kontsumitzaileari. Badakigu jadanik zabor gisa bazterten den plastiko gehienek zabortegetako lurzoruan amaitzen dutela eta hauetako asko jaki-ontzi eta bildukietako plastikoak direla.

Demagun hamar lagun San Mamesen elkartu direla. Arratseko zortziak dira eta aspaldiko partez Europako txapeladunen partida jokatzen ari da Athletic talde suediar baten aurka. Atsedendia heldu eta, jakina, guztiek ogitartekoa ateratzen dute. Ogitartekoa biltzen duen plastikozko filma kendu eta ogitartekoa jaten hasten dira. Zer gertatzen da ogitartekoak biltzen dituzten bildukiekin? Hamarretik bostek erabakitzen dute ez duela merezi

plastikozko filmtxoa berreskuratzea, olio apur bat duelako, eta poltsikoan sartuz gero zikinduko direlako; beraz, borobiltxo bat egin eta lurrera botatzen dute. Beste bostak ere horretan dira, baina lurrera bota baino lehenago norbaitek plastikozko poltsa bat proposatu du zaborrak jasotzeko eta ondorioz, ogitartekoen bildukiak bertan jasotzen dituzte, laranja- zein banana-azalekin batera, pipa-azalak ere bai, gainontzeko zabor guztiekin batera. Partidua amaitutakoan zakar-ontzi batean ipiniko dute poltsatxoa, gogoratuz gero.

Orain irudika dezagun San Mamesen jokatzeko ari den jokalaria suediar horietako baten laguna eguerdiko lan-atsedenaldi batean Estokolmon. Sandwicha atera du bazkaltzeko. Honek ere plastikotxoan bilduta ekarri du, baina hara non, plastikotxoa kendu eta mahai gainean utzi beharrean ahoan sartu eta jaten hasten da. Imajina dezagun, bestela, presaka eta korrika gabiltzala sukaldean sartzeko astirik ez dugun egun batean eta pasta egosia erosi dugula nonbait. Pasta plastikozko ontzi batean saldu digute tomate-purezko estalki batez itxita. Ontzia mikrouhin labean berotzean estalkia urtu eta pasta berehala prest izango genuke jateko, tomate eta guzti. Egoera hauek bitxiak iruditzen zaizkigu, eta lekututakoak, baina egoera arrunt bihur daitezke janari-ikertzaileek (batik bat amerikarrek) bide honetan aurrera egiteko baldintza egokiak aurkitzen badituzte [10]. Izan ere, egungo ikertzaileek barazki eta fruituetatik estalki jangarriak lortzeko prozesuak ikertzen ari dira, bi abantaila nabarmen eskaintzen dituztelakoan: estalki sintetikoaren zaborrak gutxitzen dira eta jaki gehigarria zuzenean lortzen da.

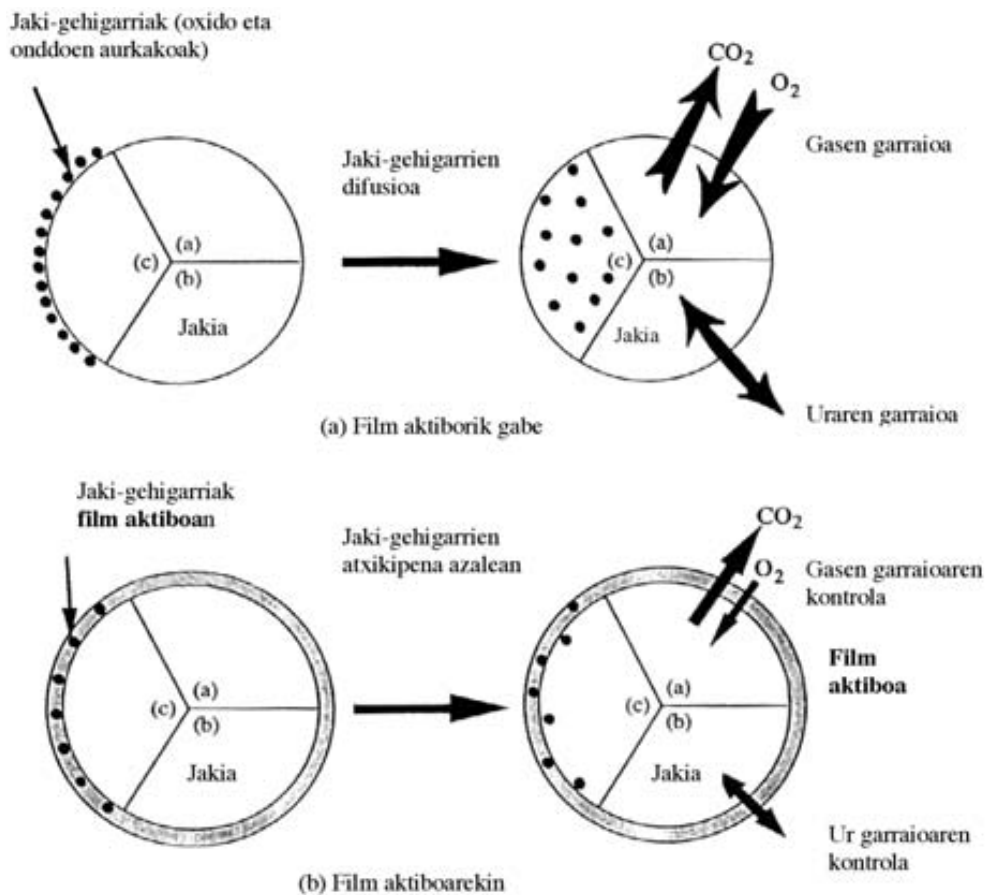
Film biodegradagarri eta jangarriek bestelako ohiko material polimerikoaren aurrean dituzten abantailak hauek dira [9]:

- Filmak produktuarekin batera jan daitezke. Arrazoi hau garrantzitsua izan daiteke: ingurumenaren ikuspegitik bilduki ideala denez, ez dago ezer zabor gisa botatzeko.
- Nahiz eta filma ez jan, ingurumenarekiko kutsadura murrizteko baliagarriak dira, baliabide biodegradagarri eta berriztagarrietatik lortzen baitira.
- Filmak geruza anitzeko ontzietan erabil daitezke, adibidez zelulosazko materialekin batera. Hala, erabat biodegradagarriak diren ontziak lor daitezke.
- Film hauek janari-ontzien propietate organoleptikoak hobetu ditzakete, kontuan izanik osagai batzuk (zaporea edota kolorea emateko substantziak, gozogarriak, etab.) eraman ditzaketela beren baitan.
- Filmek janariei elika-balioa gehi diezaiokete. Hau proteinazko filamentzat betetzen da bereziki.
- Filmak janari-zati txikietarako bilduki indibidualak egiteko erabil daitezke.

- Filmek oxidoen eta mikrobioen aurkako eramaile funtzioa ere bete dezakete.
- Filmek ur, oxigeno, karbono-dioxido eta lipidoen garraioa erregula dezakete, baita usaina eta zaporea ere. Hala, produktuaren kalitatea eta erabilgarri dirauen denbora handitu ohi da.

Enpaketatze aktiboaren kontzeptua ere sartu da berriki film jangarri eta biodegradakorren eremuan. Film aktiboek (ikus 3 irudia) janariei eskaintzen dioten babes hiru aldagai hauetan oinarritzen da: gasekiko eta ur-lurrunarekiko hesi-propietateetan, eragindako azal-baldintzen aldakuntzetan, eta filmaren mikrobioen aurkako berezko propietateetan.

Lehengai berriztagarrietatik sortutako bilduki jangarri eta biodegradakorrak sintetikoak baino garestiagoak izango dira. Baina produktu hauen gainean ikertzen ari direnen ustea da elika-balioak eta ingurumenaren alde-tik erakusten dituzten abantailak haien prezioa justifika dezaketela. Zeren



3. irudia. Berrikuntzak enpaketatzeko film jangarri edota biodegradakorretan [11]

eta bildukiek, jaten direnez, ez dute ingurumena kutsatuko. Zabortegiratu behar ez izateak, bestetik, arlo honetarako kostuak txikituko lituzke.

Gazura eta kitosanoa eremu honetan erabiltzeko lantzen ari diren materialak dira, jakin baita proteinazko zein polisakaridozko filmek hesi ezin hobia direla oxigenoaren eta hezetasunaren aurrean eta, aldi berean, propietate mekaniko egokiak dituztela. Material hauen erabilpena bultzatzeko adibide komertzialak ipin daitezke. Adibidez: esnea gordetzeko ontziak (gazura proteinazkoak), ganba edo otarrainxkenezako bildukiak (kitosanozkoak), etab. Material berriak «fruituak haien fruituzko oskolekin» ideia edo kontzeptua oinarritzat hartuz sortu nahi dituzte, alegia, ontziak eta janariak jatorri beretatik lortu ahal direlako ideiatik abiatuta.

HESI-PROPIETATEAK. IRAGAZKORTASUNA

Hesi-polimeroak solido makromolekularrak dira zeinak gas, lurrun, edota likidoen iragazpena oztopatzeko gai baitira. Ontzi eta bildukietan erabiltzen diren beira eta metalen ezaugarria da janari eta edariei babes osoa eskaintzen dietela gas eta lurrunen iragazpenaren aurrean. Polimeroek erabilera hauetarako propietate erakargarriak dituzte: tolesgarritasuna, zailtasun mekanikoa, arintasuna, konformagarritasuna, inprimagarritasuna..., baina gasen eta lurrunen garraioak ahalbidetu ohi dituzte, maila handiagotan edo txikiagoan. Beraz, aplikazio bakoitzerako hesi-polimeroak aukeratzek eskatzen du, iragazkortasunaren, propietate mekanikoen, estetikaren, kostu ekonomikoen eta birziklagarritasunaren arteko konpromisua. Dena den, hesi-polimeroen propietateak optimizatzeko gero eta interes handiagoa dago egun, ontziak eta bildukiak fabrikatzeko metodo egoki eta merkeak ahalbidetuko dituztelakoan [12].

Hesi-propietateak finkatzeko masa-garraioa aztertu behar da plastikoen zehar-ebakian, egoera egonkorrean. Iragazkortasun-koefizienteak edo permeabilitateak, P , zehazten du zenbatekoa den filma zeharkatzen duen molekula kopurua, denbora-unitateko, azalera-unitateko eta presio-unitateko. Iragazkortasuna, beraz, era honetan defini daiteke:

$$P = \frac{(\text{permeatzaile kantitatea}) \times (\text{filmaren lodiera})}{(\text{azalera}) \times (\text{denbora}) \times (\text{presio-erorketa filmean zehar})}$$

Hala, iragazkortasun-koefizientea, P , ez da soilik polimeroaren egitura kimikoaren araberkoa, polimeroaren morfologiaren araberkoa ere bada, eta honako faktore fisiko hauekiko menpekotasuna duela frogatu daiteke [13]:

—*Dentsitatea*: Polimeroen barne-egituraren molekulen artean gelditu ohi den bolumen askearen neurritzat har dezakegu. Oro har zenbat eta dentsitate handiagoa, orduan eta iragazkortasun txikiagoa izan ohi da.

- Kristaltasuna*: Kristaltasunak eta dentsitateak lotura zuzena dute. Kristaltasun maila handiak esan nahi du molekula-kateak trinkotuta daudela; bolumen aske gutxi dagoenez, gas eta likidoek oztopoak dituzte bertako hutsuneetatik iragazteko. Hala, zenbat eta kristaltasun maila handiagoa, orduan eta iragazkortasun txikiagoa.
- Orientazioa*: Polimero kristalgarrietan, molekulen orientazioak iragazkortasun maila jaisten du.
- Gurutzatze maila*: Kateen gurutzatze maila zenbat eta handiagoa, orduan eta iragazkortasun txikiagoa.
- Plastifikatzaileak*: Iragazkortasuna handitzen dute, bolumen askea handitzen baitute.
- Hezetasunarekiko sentikortasuna*: Polimero hidrofiliako batzuk (nylon-ak adibidez) urak plastifikatzen ditu; hala, iragazkortasuna handitzen dute.
- Temperatura*: Hezetasun erlatiboa temperaturaren araberakoa da eta, hala, hezetasuna %5 igotzen da, gutxi gorabehera, temperatura gradu bat igotzen den aldi oro. Iragazkortasuna, difusioa eta disolbagarritasun-koefizientea ere temperaturaren araberakoak dira [14].
- Filmaren lodiera*: Ez du hasiera batean eraginik izan behar ez iragazkortasun-koefizientearen, ez difusio-koefizientearen, ezta disolbagarritasun-koefizientearen ere.

Bestalde, neurketak egiten direneko baldintzek ere emaitzetan eragina dute. Hau dela eta, temperatura (T) eta hezetasun erlatiboa (H.E.) aurkeztea beharrezkoa da hesi-propietateen datuak aurkezten diren bakoitzean.

Gero eta janari eta edari gehiago bilduta aurkezten direla kontuan hartuz, ezinbestekoa da aztertzea plastikozko ontzietan hauek dituzten hesi-propietateak. Oxigenoa eta ur-lurruna dira janarietan eragin handiena duten substantziak eta, ondorioz, ontzi eta bildukien baitako haien iragazpen-abiadura finkatu beharrezkoa izaten da. Oxigenoaren iragazpenak adibidez halako kalteak eragin ditzake: bitaminen degradazioa, lipidoen oxidazioa, eta bestelako oxidazio-erreakzioak. Bestetik, hezetasunaren iragazpenak mikrobioen hazkundera eta janariaren itxura-galera ekar ditzake [9].

UR LURRUNAREN TRANSMISIO-ABIADURAREN NEURKETAK

Nahiz eta hesi-polimeroak potentzialki elikagaiak babesteko material egokiak izan, onartu behar da polimero biodegradakorren desabantailarik handiena haien izaera hidrofilikoa dela. Hau da, ura xurgatzen dute, eta ondorioz arazoak sor daitezke elikagaiak babesteko aplikazioetan. Beraz, garrantzitsua da baita material hauen ur-lurrunaren transmisio-abiadura ere finkatzea.

2. taula. Polimero-film biodegradakor, jangarri eta ohikoen ur-lurrunarekiko iragazkortasuna (ULP)

Filma	Neurketa-baldintzak	ULP (g mm /m ² egun kPa)	Erref.
<i>Proteina oinarriko filmeak</i>			
Arto-zeina/Glizerola (4,9:1)	21°C 85% HE	7,69-11,49	[9]
Gari-glutena/Glizerola (3,1:1)	26°C 85% HE	53,2	[9]
Gazura-proteina isolatua / Glizerola (15:1)	26,3°C 88% HE	45,4	[15]
<i>Polisakaridoak</i>			
Metilzelulosa	30°C 11% HE	7,26	[9]
HPC	30°C 11% HE	4,49	[9]
Zelofana	38°C 90% HE	7,26	[16]
<i>Film sintetikoak</i>			
LDPE	27,6°C 100% HE	0,0312	[15]
HDPE	38°C 90% HE	0,02	[15]
EVOH (68%VOH)	38°C 90% HE	0,25	[17]
PVDC	27,6°C 100% HE	0,0192	[15]

HPC: Hidroxipropil zelulosa; LDPE: Dentsitate txikiko polietilenoa; HDPE: Dentsitate handiko polietilenoa; EVOH: Etil-binil-alkohola (VOH: Binil alkohola), PVDC: Polibinilidenkloruroa.

OXIGENOAREKIKO IRAGAZKORTASUNA

Oxigenoak elikagaiekiko ukipena izanez gero elikagaien kalitatea txikitu egiten da eta denborarekin hondatzeko arriskua areagotu. Oxigenoak, lipido eta bitaminen oxidazioaren bidez, elikagaien zaporea, usaina eta gustua alda ditzake, baita elika-balioak ere, eta ondorioz, jakiak hondatu. Film eta estaldura jangarriek janari askoren usteltze- eta hondatze-prozesuak atzera ditzakete hesi-propietate bikainak dituztelako.

Hala, film jangarriekin egin diren ikerketa askotan, interesa oxigeno eta karbono-dioxido iragazkortasunaren neurketetan aurkitu ohi da, bi gas horiek baitira elikagaiaren oxidazio- eta arnasketa-abiaduretan eragin handiena dutenak.

3. taula. Polimero-film biodegradakor, jangarri eta ohikoen oxigenoarekiko iragazkortasuna (OP)

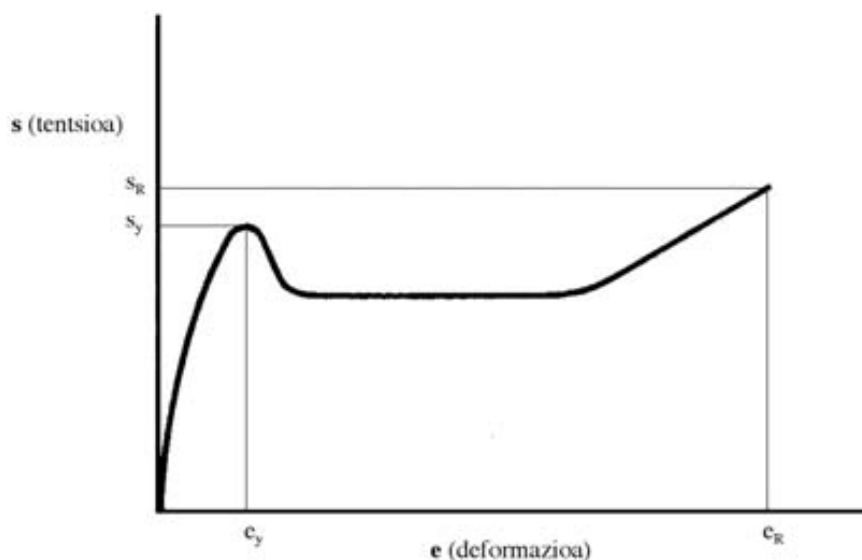
Filma	Neurketa-baldintzak	OP ($\text{zm}^3 \text{ mm/m}^2$ egun kPa)	Erref.
<i>Proteina oinarriko filmak</i>			
Arto-zeina/Glizerola (5:1)	23°C 0%HE	7,7	[18]
Gari-glutena/Glizerola (2,5:1)	25°C 0% HE	6,1	[19]
Gazura proteina isolatua/ Glizerola (5,7:1)	23°C 50% HE	18,5	[18]
<i>Polisakaridoak</i>			
Metilzelulosa	25°C 52% HE	90	[19]
HPC	30°C 0% HE	259	[19]
Zelofana	23°C 95% HE	252	[9]
<i>Film sintetikoak</i>			
LDPE	23°C 50% HE	1870	[20]
HDPE	23°C 50% HE	427	[20]
EVOH (70%VOH)	23°C 0% HE	0,1	[20]
PVDC	23°C 50% HE	04-5,1	[20]

HPC: Hidroxipropil zelulosa; LDPE: Dentsitate txikiko polietilenoa; HDPE: Dentsitate handiko polietilenoa; EVOH: Etil-binil-alkohola (VOH: Binil alkohola), PVDC: Polibinilidenkloruroa.

PROPIETATE MEKANIKOAK

Film biodegradakor eta jangarrietarako hesi-proprietateak bezain garrantzitsuak dira propietate mekanikoak, erresistentzia mekaniko egokia izanik filmaren osotasuna bermatuta gelditzen baita. Bestalde, hidrokoloideen eta molekula txikien (uraren, plastifikatzaileen, lipidoen edota matrizean sakabanatutako bestelako gehigarrien) arteko elkarrekintzek filmaren portaera mekanikoa baldintzatuko dutenez, ontziak-eta diseinatzeke ezinbestekoa da polimero jangarrien ezaugarri mekanikoak ongi finkatuta edukitzea.

Material plastikoen propietate mekanikoen artean trakzio-proprietateak dira ziur aski gehien neurtu eta ezagutu direnak, eta ondorioz, industriak gehien erabiltzen dituenak. Trakzioko propietate mekanikoek materialaren erantzuna erakusten dute tentsio hazkor eta jarraitu baten eraginpean dagoenean. Propietate mekanikoek honakoei buruzko datuak eman ohi dituzte: elastikotasun modulua (Young-en modulua), isurpen-erresistentzia edota trakzio-erresistentzia, eta isurpen zein hausturako luzapen erlatiboak [21].



s_y : isurpen-puntuko tentsioa; e_y : isurpen-puntuko deformazioa; s_R : haustura-puntuko tentsioa; e_R : haustura-puntuko deformazioa

4. irudia. Polimero deformakorren tentsio-deformazio trakzio-kurbaren irudikapena

4. taula. Polimero-film biodegradakor, jangarri eta ohikoen propietate mekanikoak

Filma	Neurketa baldintzak	Trakzio erresistentzia (MPa)	Luzapena (%)	Erref.
Proteina oinarriko filmak				
Arto-zeina/Glizerola		5	46	[9]
Gari-glutena/ Glizerola (2,7:1)	25°C 50%HE	0,5-0,9	157-229	[18]
Gazura proteina isolatua / Glizerola (5,7:1)	23°C 50%HE	29,1	4,1	[18]
Polisakaridoak				
Metilzelulosa		56	11	[9]
HPC		15	33	[9]
Zelofana		48-110	15-25	[16]
Film sintetikoak				
LDPE		9-17	500	[9]
HDPE		26	300	[9]
PET		175	70-100	[9]

HPC: Hidroxipropil zelulosa; LDPE: Dentsitate txikiko polietilenoa; HDPE: Dentsitate handiko polietilenoa; PET: Polietilentereftalatoa.

Beren izaera molekular desberdina dela-eta material polimerikoek askotariko propietate mekanikoak erakusten dituzte. Materialek eraman ditzaketen gehigarri eta plastifikatzaileek ere eragina izan dezakete propietate mekanikoetan. Saiakuntzaren baldintzak ere garrantzitsuak izan daitezke. Adibidez, polimeroen tentsio-deformazio portaerak tenperatura eta de-formazio-abiadurarekiko menpekotasun handia du. Hala, tenperatura igotzen den heinean, erresistikortasunaren propietateak, hau da, Young-en modulua eta erresistentzia mekanikoa (edota isurpenekoa) txikitu egiten dira, eta deformatagarritasuna (isurpeneko zein hausturako luzapenak), aldiz, handitu. Bestetik, deformazio-abiadurarekiko menpekotasuna bestelakoa da: hura handituz propietate erresistikorrak handitu ohi dira, eta deformatagarritasunarekin lotutakoak txikitu. Azkenik, kontuan hartu beharrekoak dira materialen eta ingurunearen balizko elkarrekintzak ere, propietate mekanikoetan eragina izan dezaketelako.

ONDORIOAK

(a) Ingurumenaren ikuspegitik polimero jangarriak bilduki idealak dira. Epe luzera, geruza anitzeko bildukietan erabiltzen diren oxigenoarekiko eta gasekiko hesi-polimero sintetikoak ordezkatu ahal izango dituzte. Gainera, polimero jangarrien eta biodegradakorren erabilpenak bestelako enpaketatze materialen birziklagarritasuna ere hobetu dezake.

(b) Nahiz eta ia ezinezkoa izan film biodegradagarri eta jangarriek enpaketatze egun erabili ohi diren plastiko arruntak erabat ordezkatea, hirietako zabortegeien lurzoruetarako onuragarria izango da plastiko-hondakinen frakzio bat behintzat ezabatu ahal izatea.

Gazura eta kitosanoa bezalako biopolimeroek hainbat ezaugarri egoki erakusten dituzte enbase eta enbalajearen industriarako. Baina, biopolimero gehienek bezala, duten desabantailarik handiena haien izaera hidrofilikoa da, zeinak urarekiko sentikor bihurtzen baititu eta, ondorioz, oraino ez dira zuzenean erabili ahal izan janariak biltzeko. Arlo honetan, beraz, ezinbestekoak dira ikerketa- eta garapen-programak, material berri hauek dituzten arazoak gaindituta, ekonomikoki inoiz ekoitziko badira.

ESKER ONAK

Idoia Olabarrietak *Kungl Tekniska Högskolan* Estokolmoko Unibertsitate Teknikoa eta bertako Polimeroen Teknologia Sailari eskertu nahi die lan hau burutzeko emandako laguntza. Baita EHUko errektoreordetzak euskarazko tesiak sustatzeko diru laguntza ere.

BIBLIOGRAFIA

- [1] SARASUA, J.R., «Material plastikoak eta ingurugiroa: polimero biodegradakorrak». *Ekaia*, 2001. **14**: p. 65-78.
- [2] OLABARRIETA, I., «Transport properties of chitosan and whey blended with poly(ϵ -caprolactone) assessed by standard permeability measurements and microcalorimetry». *Polymer*, 2001. **42**: p. 4401-4408.
- [3] ALBERTSSON, A.C. and S. KARLSSON, «Chemistry and biochemistry of polymer biodegradation», in *Chemistry and Technology of Biodegradable Polymers*, E. G.J.L. Griffin, Editor. 1994, Blackie Academic & Professional: London. p. 7-17.
- [4] KLAHORST, S.J., *Credible Edible Films*, via <http://www.foodproductdesign.com>. 1999, Weeks Publishing Co.
- [5] KARLSSON, S., «Biodegradable Polymers and Environmental Interaction». *Polymer Engineering and Science*, 1998. **38**(8): p. 1251-1253.
- [6] WEBER, C.J., *et al.*, *Biobased packaging materials for the food industry*. 2000, KVL.
- [7] SCOTT, J., *Biodegradable polymers*, via www.denison.edu. 1995, Denison University, Ohio.
- [8] TRZNADEL, M., «Biodegradable polymer materials». *International Polymer Science and Technology*, 1995. **22**(12): p. 58-65.
- [9] ANKER, M., «Edible and biodegradable films and coatings for food packaging». *a literature review*. 1996, Chalmers University of Technology: Göteborg.
- [10] MCHUGH, T.H., *Edible Packaging*, via <http://www.asae.org>. 2001, American Society of Agricultural Engineers.
- [11] GUILBERT, S., B. CUQ, and N. GONTARD, «Recent innovations in edible and/or biodegradable packaging materials». *Food Additives and Contaminants*, 1997. **14**(6): p. 741-751.
- [12] FREEMAN, B.D., S.N. DHOOT, and M.E. STEWART, «Barrier Polymers», in *Encyclopedia of Polymer Science and Technology*. 2002, John Wiley & Sons, Inc.
- [13] PAULY, S., «Permeability and Diffusion Data», in *Polymer Handbook*, J. Brandrup, E.H. Immergut, and E.A. Grulke, Editors. 1999, John Wiley & Sons, Inc.
- [14] DEMOREST, R. and J. B., «Testing, Permeation and leakage», in *The Wiley Encyclopedia of Packaging Technology*. 1997. p. 897.
- [15] SHELLHAMMER, T.H. and J.M. KROCHTA, «Whey Protein Emulsion Film Performance as Affected by Lipid Type and Amount». *Journal of Food Science*, 1997. **62**(2): p. 390-394.
- [16] TAYLOR, «Cellophane», in *The Wiley Encyclopedia of Packaging Technology*. 1986.
- [17] FOSTER, R., «Ethylene-Vinyl Alcohol Copolymers (EVOH)», in *The Wiley Encyclopedia of Packaging Technology*. 1986.
- [18] MCHUGH, T.H. and J.M. KROCHTA, «Sorbitol - vs Glycerol-Plasticized Whey Protein Edible Films: Integrated Oxygen Permeability and Tensile Property Evaluation». *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1994. **42**(4): p. 841-845.

- [19] MILLER, K.S. and J.M. KROCHTA, «Oxygen and Aroma Barrier Properties of Edible Films: A Review». *Trends in Food Science & Technology*, 1997. **8**: p. 228-237.
- [20] SALAME, M., «Barrier Polymers», in *The Wiley Encyclopedia of Packaging Technology*, M. Bakker, Editor. 1986, John Wiley & Sons. p. 48-54.
- [21] SARASUA, J.R., «Soka sintetikoak». *Ekaia*, 2002. **15**: p. 23-41.