

# Biomimesia

## IKERKETA-PROIEKTUA

Lurraren etorkizunarekiko  
perspektiba ekologikoa ikuspegi  
kimiko organiko modernotik

ELHUYAR ZIENTZIA  
AZOKA 2022

Aitor Alonso, Naomi Paz, Miranda González  
2021 – 2022 • PAÚLES BARAKALDO DBH 4.B

## IKERKETA-PROIEKTUAREN AURKIBIDE OROKORRA

---

1. Ikerketaren laburpena
2. Arazoa eta galdera
3. Experimentazioa
4. Metodologia
5. Emaitzak
6. Ondorioak
7. Bibliografia eta erreferentziak
8. Eskerrak



### NORTZUK GARA?

Gure izenak Aitor Alonso Lanza, Naomi Paz López eta Miranda González Mato dira. Barakaldoko San Vicente de Paúl Ikastetxetik gatoz. Zientziarekiko interesa izan dugu beti, eta irakasgai horiek eman dizkiguten irakasleak erreferentzia izan dira beti guretzat, zientziaren bokazioa hezurretaraino sartu baitigute.

DBHra iristean, gai honetan dugun interesa erakutsi nahi izan dugu, honelako lehiaketetan. Hauetan gure dedikazio osoarekin parte hartu dugu. Izan ere, Elhuyar Zientzia Azoka izan da gure proiektu giltzarria edo nagusia, eta gogor lan egin dugu % 100ean gustura geratu garen lan bat aurkezteko. Beraz, espero dugu ondo pasatzea eta zerbait ikastea. Eskerrik asko!

## IKERKETAREN LABURPENA

---

**8,7 milioi** espezie bizi dira lurrean. Baina zergatik dira denak beharrezkoak bizitzaren zikloan? Animaliek **biosfera** osatzen dute eta bakoitzak **eginkizun garrantzitsuak** ditu ekosistemetan. Hauek dira, besteak beste, hondakinen deskonposizioa, polinizazioa eta oreka biologikoaren kontrola. Lurrean izaki bizidun ugari elkarrekin bizi dira, eta **biodibertsitate** hori erabakigarria da **planetaren jasangarritasunerako**.

Elkarbizitza honetako protagonistak, besteak beste, gu gara. Denboraren poderioz, gizakiak lotura estuagoak hartu ditu animaliekin, hala nola maskoten, laneko animalien edo, gaur egun, gehiegizko kontsumo-gizartea hornitzeko animalien ustiatzea ekarri zuten elikagai-iturriekin. Hala ere, gero eta **kontzientziario** handiagoa dago ingurumena eta izaki bizidun guztiak zaintzeari dagokionez, gizakiak haiekiko arduratsuago eta enpatikoago eraginda. Animaliekiko enpatia hori gure gizartean txertatu da. Zientzian sartzera ailegatu da, izan ere, askorentzat ezezaguna den biologiaren adar batean: **biomimesia**.

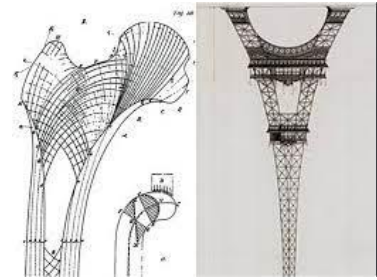
**Biomimesia giza arazoen konponbideak aurkitzean datza, naturak planteatutako prozesuak aztertzen.** Azken finean, gizakiaren trebetasunetako bat bere eskuekin sortzeko gaitasuna da. Hitz berak bere esanahia adierazten du, *bio* (bizitza) eta *mimos* (imitazio). Biomimesiaren harroina milioika urteren ondoren fosilen soilera mugatzen ez diren animalia eta landare espezieen prozesu kimikoak eta sistema mekanikoak aztertzea da. Helburu nagusia gizakiaren arazoei aurre egiteko inspirazioa aurkitzea eta giza espezieen biziraupena aurkitzea da, gure **bizi-kalitatea hobetuz**.

Eta zergatik dira naturaren soluzioak hain eraginkorrak? Erantzuna da gaur egun gure planetan bizi diren espezieak 3.8 bilioi urte baino gehiagoko egokitze prozesu batetik igaro direlako, non gehien-gehienak desagertuz joan diren eta fosil moduan historiara pasa dira. Horregatik, bidean aurkitzen ditugun arazoei aurre egiteko, iraganean gainditu zituztenengan inspiratzen gara.

Biomimesia **Leonardo Da Vinciren** garaitik erabiltzen da. Hura saguzarretan inspiratu zen, bere ametsa, gizakia hegan egitera ahalbidetzea, erdiesteko. Zientziaren adar hau arazo baten aurrean dagoen beharrian batetik sortzen da, baina aipatuta geratu da ez dela gauza erabat modernorik.

Adibide gisa, gaur egun konponbiderik ez duela dirudien arazoetako bat har dezakegu: temperatura altuak. Arazo horri aurre egiteko, betidanik erabili izan da aire girotua, planeta berotzen duena eta klima-aldaketari mesede egiten diona. Orduan hasi zen Syndy Dovale biomimesiarekin batera lanean eta Cooltiva sortu zuen. Zuhaitzez inguratutako dorre huts bat, itzala ematen diona eta berotzea saihesten duena, baso bat bezalakoa. Itzalaren hotzak eta goiko aldeko beroak aire-korronteak sortzen dituzte, eta horiek kanal batzuetatik igarotzen dira; kanal horiek dorrera eramaten dituzte, eta, bidean, kanaletan biltzen den ura berotu eta lurruntzen dute, prozesuaren amaieran aire freskoa dorretik ateraraziz.

Hala ere, biomimesia hainbat alorretako protagonista bihurtzea ahalbidetu du bere ikerketak garai susmagaitzetik. Izan ere, Gustave Eiffelek Eiffel Dorrea zirriborrazeko **femurrean** inspirazioa aurkitu zuen, karga eszentriko baten euskarri izan zedin. Era berean, hegazkinen egitura animalien **sustentazioan** inspiratuta dago, hegaztietan. Honetaz gain, animalien jokabidea biomimetizaileen azterketaren subjektu izan dira, gure gizartea hondatzen duten **disparekotasun sozialei** irtenbidea aurkitzeko asmoz. Hori esanda, galdera bat planteatu ahal izan dugu **biomimesiaren aplikazioak erabiliz, gure ongizatea arriskuan jarriko lukeen etorkizuneko gizarte bati irtenbideak emateko.**



| 1. Irudia: Gustave Eiffel giza femurrean inspiratu zen Pariseko dorre ospetsua zirriborrazeko.

## ARAZOA, GALDERA

---

Duela zenbait hamarkada, hurrengo belaunaldien etorkizuna markatuko duen arazo bati egin behar dio aurre planetak: **berotze globalari**. Tenperatura igotzeak eta klima-aldaketak alarma piztu dute aspalditik. Hala ere, azken urteotan, lehen ezagutzen ez ziren arazo horiek protagonista bihurtu dira, bai hedabideetan, bai herritarren protestetan. Tenperaturak gora egiten jarraitzen zuela ikustean eman zen garrantzi horrekin batera, erakundeek **CO<sub>2</sub>**-a errudun nagusi gisa jarritz neurriak hartu ziren.

Gas hori atmosferara proportzio oso altuetan iristen denean, mineral fosilak etengabe erauzten eta erretzen baitugu, berotegi bateko beirak bezala jarduten du. Lurraren gainazaletik irradiatzen den Eguzkiaren energia eta beroa xurgatzen ditu CO<sub>2</sub>-ak, hauek espaziora ihes egiten ez uzten. Hau da beraz lurraren azala berotzea eragiten duen arrazoi pisutsuena, beste gas batzuekin batera. Gogora dezagun negutegi-efektua fenomeno naturala dela, eta, horri esker, gure planetak biziari eusteko behar diren baldintzak bete ditzake. Nolanahi ere, aipatu berri dugun moduan, arazoa **errekuntzetako gasen proportzioa** aldatzen denean sortzen da.

Testuinguru hurbilean, Espainiak CO<sub>2</sub> gehien emititzen duten herrialdeen **28.** postura ailegatu zen 2019an, 2020tik aurrera COVIDak eragindako pandemiak eragindako beherakada ez baitugu kontabilizatu. Maila autonomikora jaitsiz, EAEk 15.523.050 tona CO<sub>2</sub> isuri zituen urte horretan bertan, eta EBko BEGen guztizko emisioen %0,5a eman zuen. Tona horiek, batez ere, industria elektrikoak eta garraioak eragin zituzten. (Ihobe, 2019)

Beraz, bi erronka zientifiko handi urgaineratu dira arestian mende honetarako: batetik, **karbono dioxido atmosferikoaren maila murriztea**, klima-aldaketaren ondorioak arintzeko, eta, aldi berean, **lehengai alternatibo eta jasangarriak garatzeaz** arduratzea, planetarekin ingurumenaren aldetik atseginagoak diren produktu kimikoak eta material berriak sortzeko.

Eta hori lortzeko zer modu atseginik biomimesiaren bidez lortzea baino. Hori gauzatzeko, ez da beharrezkoa izango konplexutasun handiko prozesu batean sartzea, behar bezain zehatza ez bada. Prozesu horretara gehien hurbiltzen den erkaketa gure ikuspuntutik landare-zeluladunek egindako **fotosintesia** da.

Izaki bizidun **fotoautotrofoek** materia organikoaren eraketa erdiesten dute karbono dioxidoa xurgatzen gatz mineralekin eta urarekin batera, glukosa eta ATP eskuratzeko. Glukosa eta ATP horiek **funtzio estrukturala eta energetikoak** beteko dituzte organismoan, oxigenoa kanporatzen duten bitartean. Naturak gure bidean jarri duen prozesu kimiko hori inspirazio gisa hartuta, gizateriak laster garatu ahal izango du teknologia berritzaile bat gure atmosfera berotegi bihurtzen duten CO<sub>2</sub> mailak egonkortzeko.

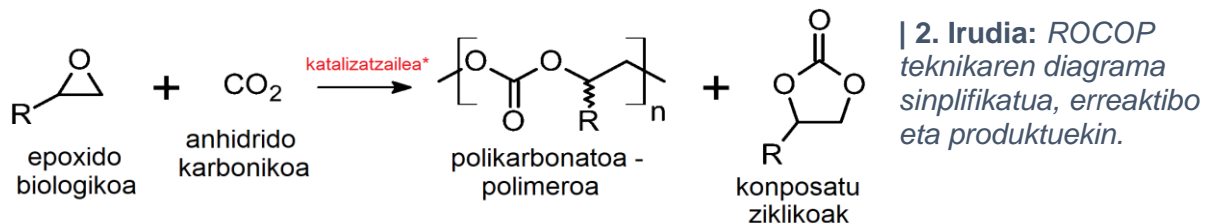
Eratzun-irekieraren bidezko kopolimerizazio (**ROCOP**) izenarekin garatuta, biomasatik ateratako epoxidoak anhidrido karbonikoaren ondoan katalizatu ahal izango dira konposatu zikliko bat sintetizatzen (eratzun-formakoa). Konposatu hori polikarbonato bat eratuz ebaki ahal izango da, nondik **plastiko** arruntak atera ahal izango dira, hala nola elastomeroak. Produktu horrek emango lioke funtzio estruktural erlatibo hori gizateriari, barru-kalterik eragin gabe, landareen ehunek energia kimiko fotosintetikoa lortzean sortutako horretan biomimetikoki oinarrituz.

Ekonomiaren eta ekologiaren ikuspegitik, oso komenigarria da CO<sub>2</sub>a erabiltzea, bota beharrean. Erabilera errentagarriaren ikuspegietako bat da CO<sub>2</sub>a erabiltzea propietate biodegradagarriak eta pertsonalizatuak dituzten polimeroak ekoizteko. Gaur egun, **poliolefinazko** hondakin plastikoek ondorio ikaragarriak ekarri dituzte, “kutsadura zuria” deritzenak, hain zuzen ere, bilgarri-materialen zorizko bazterketatik eta isurketatik, adibidez nekazaritzako mulch-filmetatik, elikagaien bilgarrietatik, etab. Gainera, poliolefinak oso mantso degradatu daitezke oxigenoa eta izpiak dagoenean.

Presaka garatutako proiektu horrek material biodegradagarriak garatzera behartu ditu zientzialariak. Material horiek lurzoruan lurperatutako mikroorganismoek degradatu ditzakete, baldintza egokietan. Izan ere, polimero biodegradagarrien garapenak zailtasunak ditu poliolefinazko plastikoak ordeztzeko **lehengai garestiak direla eta**. Beraz, **CO<sub>2</sub> lehengai bikaina erabiltzeak polikarbonato merke, jasangarri eta biodegradagarrien sintesian emaitza du**. Adibidez, CO<sub>2</sub>-aren zuzeneko kopolimerizazioa zenbait epoxidorekin, hala nola etilen oxidoa (EO), propileno oxidoa (PO), ziklohexeno oxidoa (CHO) edo isobutileno oxidoa (BO), polikarbonatoak eta polikarbonatoak (karbonatozko eterrak) eraikitzen.

CO<sub>2</sub>a molekula lineala da. Beraz, kimikoki egonkorra da. Kopolimerizazioa arina izan dadin, **aktibitate handiko katalizatzaileak erabili dira CO<sub>2</sub> ez-aktiboa aktibatzen jatorri biologikodun epoxidoarekin batera**. 1969an, Inoue et al. dietil ura/zink konplexuak katalizatutako PO-CO<sub>2</sub> kopolimerizazioa lortu zuten, poli (propileno karbonatoa) (PPC) prestatuz %88ko karbonatoarekin.

Horren ondoren, CO<sub>2</sub> eta epoxidoen kopolimerizaziorako erlazionaturiko **katalizatzaileen** esplorazioan gorakada dago. Hainbat konplexu metaliko erabili dira epoxido eta anhidridoaren kopolimerizazioa katalizatzen, zink, magnesio, kobalto, manganeso, burdina, aluminio eta nikelzko konplexuak barne. Zinkezko (e.g. ZnGA) sistemak eraginkortasun katalitiko handiena erakutsi du orain arte emandako CO<sub>2</sub> eta POko polikarbonatoa eraikitzen. (Longo et al., 2020)



Propietateei dagokionez, **ester-loturak barne-egituran** direla eta, frogatu da PPCa polimero biodegradagarria dela. Alde horretatik, ikertzaileek interes handia dute **ezaugarri pertsonalizatuak** dituen PPC eraikitzen. Izan ere, hauek propietate termiko eta mekaniko hobekak dituzte **beira-trantsizio-** eta deskonposizio-tenperaturekin (egoera likatsu bat erdiesteko tenperatura), eter-loturak dituzten PPC konbentzionalek baino askoz altuagoak. Horren ondorioz, PPCaren galdaketa-prozesua polietileno komertzialaren gisako prozesamenduan aplikatu daiteke.

PPCan CO<sub>2</sub> hondakinak finkatzea lorpen nabarmena da, material polimerikoekiko karbono-aztarna txikia baita. CO<sub>2</sub>-ak CO<sub>2</sub>-n oinarritutako plastiko erabat degradagarriak alboratzen ditu, aplikazio potentzial eta zabalekin. PPCk langa-materialetan, material apartzaileetan, elektrolitoetan eta abarretan aurkitzen ditu bere aplikazioak. (We et al., 2019)

Bestalde, epoxidoak aztertzen, eta are gehiago beste konposatu batzuekin batera kopolimerizatzeko, **berariazko azpiegitura** behar da. Konposatu horiek katalizatzen ezinbestekoak diren tenperatura altuak eta horiek gizakiarentzat dituzten propietate kaltegarriak direla eta, prozesu horri dagokion teknologia ez da guztiz bizia. Gainera, gaur egun mahai gainean dagoen informazioaren urritasunak eragin du teknika berritzaile horren aldeko apustu eskasa. Hala ere, zenbait aurrerapen egin dira eta gure esku jarri dira (joan zaitez *Esperimentazio* atalera).

Funtsezkoena da **PPCaren industrializazio "masiboa" dela PPCarekin lotutako produktuen aplikazio praktikoaren oinarria.**

Esaldi hau oinarri hartuta, gure proiektuaren jarraipenerako bi hipotesi nagusi planteatzea funtsezkoa dela erabaki dugu, metodo zientifikoa jarrai dadin:

- Oraingoz gure zalantza nagusia da posible al den gizateria osoa **hornitzea** teknologia hau aplikatuz eskala handi batean.
- Teknologia honen garapeneraren oztopo nagusia **gizartearen ezezagutza** da, batez ere axola-handiko hedabideen bisio ez-zientifikoaren ondorioz.

## ESPERIMENTAZIO BIBLIOGRAFIKOA

---

Proiektuaren gauzatzea **bibliografiko eta estatistikoa** izan baino ez denez, mundu osoan zehar burututako esperimentazioaren zenbait adibide atal independente batean aurkeztea lehen mailako kontutzat hartu dugu proiektuaren metodologian. Guretzat tekniken egiazkotasuna frogatzen duten eginkizunak lanaren mamiarekin homogeneizatzea manamenduzkoa da. Hortaz, hona hemen komunitate zientifikoaren esanetara jarri diren bi asmakizun:

- **Dell Air Carbon® (Newlight Technologies, Inc. , Kalifornia, AEB)**  
Newlighteko lehen merkataritza-instalazioak Kaliforniako esne-granja bateko hondakin-urmaelak sortutako **metanoa** harrapatu eta bioerreaktore batera darama. Han, **entzimek** gasa eta airea konbinatzen dituzte polimero bat sortzeko. Lortzen den plastikoak, *AirCarbon®* izenekoak, petrolioz egindako plastiko gehienek bezala funtzionatzen du, baina gutxiago kostatzen du, eta berotze globalerako **merkatu-irtenbidea** sortzen du. Mark Herremarentzat, Newlight Technologies start-up aren sortzailea, erregenerazioa norabide berri bat da, mundua hobetzen dutenak. (*Newlight, 2022*)
- **React IR® (Mettler, Toledo, Espainia)**  
**Erreakzioaren zinetika** neurtzeko eta ROCOPekin proposatutako erreakzio-mekanismoak babesteko erabiltzen da ReactIR®. Teknologia CO<sub>2</sub>-epoxidoaren ROCOP-erako zenbait **katalizatzaileen eraginkortasuna** zehazteko erabiltzen da, erreakzioaren parametroen arabera, hala nola CO<sub>2</sub>-aren presioa eta erreakzio-tenperatura. Bitarteko **infragorriaren** espektroskopiak karbonato ziklikoak, polikarbonatoak eta polieterrak bereizten dituzenez, ReactIR®-k epoxido-erreakzio horietan sortzen diren bigarren mailako produktu eta produktuen jarraipena egin dezake. (*Mettler, 2022*)

Ikerketa-lan hau egin ondoren, uste dugu ardurazkoa dela aipatzea asmakizun horiek ezin izan zutela produktu preziatu horren sektore ahulean nagusitasunik lortu inbertsiogilerik eta haien egiazkotasunaren eta potentzialaren aldeko zientzialari-talderik gabe. Espektru honetan **Tian-Guan** enpresa esanguratsua da munduan.

PPCa eskala industrialean ekoizten hasi zen Tian-Guan Enterprise (Group) Co. Ltd, (Henan, Txina) urteko 5.000 tonako eskalan (t/u). Tian-Guan Taldeko eta Sun Yat-sen Unibertsitateko ikertzaileekin lankidetzan, teknologia eta aparatu aldatuak garatu dira. Azkar hazi denez, ekoizpen-eskala 25.000 t/urte izatera iritsi da. Tian-Guan enpresak 550 kt etanol ekoizten baita ere ditu urtean, **biogasolinaren** aro berriaren aitzindaria.

Baina garrantzitsuena da enpresak CO<sub>2</sub>-a erabiltzen duela hasierako erreaktibo gisa, eta propileno oxidoarekin batera polimerizatzen duela PPC biodegradagarria sortzeko. Prozesu osoak, azkenean, zero kutsadura lortzen du hondakinak deskargatu gabe. PPC kopolimeroak **%43 karbono dioxido** baino gehiago dauka.

## METODOLOGIA

---

Informazio ugari duen gizarte batean bizi garen arren, informazio hori ez da hizkuntza guztietara iristen. Gure ikuspuntutik, proiektua egiteko motibazioan azaldu dugun bezala, euskara eta edozein hizkuntza ofizial metodo zientifikoa sartu beharra dago. Horretarako, hizkuntza honetan lanean hastea erabaki dugu "errezeta enpirikoaren" zortzi urratsetako lehenengotik. Ikerketa-prozesu osoan, honi zorrotz jarraitu zaio:

1. **Galdere** bat planteatzea: Gaur egungo arazo bati begira, gure kasuan berotze globala zena, gizateria hornitzeko konponbideren baten bila joan ginen euskal publikoa informa zedin.
2. **Sakoneko ikerketa** bat egitea: hainbat iturri zientifikotatik zorrotasuneko informazioa lortzea, ahalik eta informazio zehatzena lortzeko eta interes eta sinesgarritasun gutxien duten datuak baztertzeko. Honen bila hainbat artikulu zientifikoetara barruratu ginen, batez ere ingelesez idatziak, mundua globalizatu duen hizkuntza.
3. Lortutako datuetatik abiatuta, **hipotesiak** garatzea zen hurrengo helburua. Hauetan finkatuta lan egingo genuke proiektuan zehar. Hauek burutzeko, gizarteak arlo honekiko zituen zalantzeta jo genuen, erregistrora finka gintezan.
4. **Esperimentazioaz** blaitu konponbidearen egiazkotasuna frogatzeko: gure kasuan, gai honi buruzko besteren esperimenteren datuak aurkitu eta nola egiten diren ikusi, emaitzak hobeto azaldu ahal izateko sailkatuz.
5. **Emaitzak** aztertzea: aurreko urratsean emaitzen arabera sailkatu diren datuak aztertu egiten dira. Emaitza horiek hasieran azaldutako hipotesiak proposatzen zituen ustezko emaitzekin alderatu behar izan dira.
6. **Ondorio** bat zehaztea: emaitz esperimenteren eta hipotetikoen arteko konparazioekin, hasieran formulatutako hipotesia zuzena edo okerra den ondorioztatzea. Zergatik hipotesia baliozkoa edo ez den azaltzea.
7. **Txostena** idaztea: ikerketa- eta itxaronaldi-lana egitean lortutako emaitza eta datu guztietan oinarrituta, datu horiek guztiak bilduko dituen txosten bat idaztea, dokumentazio grafikoa erantsiz.

Hala ere, bideoaren helburua txosten honen gaia sartzea izan zen arren, hau muntatzeko hainbat esperimenteru praktikara eraman genituen, batez ere gure hipotesiak soilik bibliografikoki ez erantzuteko. Horretarako, gure hipotesien konponbidera gehien hurbiltzen zen esperimenteru batean pentsatu genuen. Orduan izan zen erabaki genuenean **gizarte-esperimentu** bat izango zela guk nahi genuenera alboratzen zen gauza hobea.

Esperimentua burutzeko, aztertuko dugun gaia errepetatu genuen, eta ingurumenari buruzko hiru galderako sorta bat prestatuko genuen, gizartean zer **kontzientziazio-maila** zegoen eta lehen aurkeztutako asmakizunen aurrean zenbateko **itxaropena** dagoen jakin genezan.



Galdera-sorta osatu zuten hiru galderak hurrengoak ziren:

1. Ezagutzen duzu klima-aldaketari buruzko konponbiderik?
2. Bazenekien CO<sub>2</sub> plastiko edo erregai bihur dezakeen makina bat dagoela?
3. Zergatik uste duzu ez dela hain ezaguna makina hau?

Datuak biltzeko, gure hiriko parke botanikoa erabili genuen topaleku gisa, gure galderei erantzuteko prest dauden pertsonak aurkitzeko lekutzat hartu ondoren. Han, grabazio-seta prestatu genuen, eta **belaualdien arteko alde nabarmena** zuten lau pertsona aukeratu genituen, beren **ideologia ekologiko**ekiko zer desberdintasun zeuden jakiteko asmoz.

Elkarrizketak egin ondoren, bigarren esperimentu bat prestatu genuen, azaldutako proiektu biomimetikoaren aitzindaria (fotosintesia) sartzeko balioko zuena. Horretarako, landare baterako **ingurune urtar bat emulatu** nahi izan genuen, prozesu horren benetako funtzionamendua ezagutzeko.

Esperimentua egiteko, etxe batean erraz aurkitzen diren materialetatik abiatu ginen, erreakzio horren erreaktibo bakoitza zela simulatu zutenetik.

1. **Ura** (zorupearen sustraietatik ateratakoa bezalakoa).
2. **Botila** bat tapoiarekin (uretako ekosistema bat simulatzeko).
3. Sustraia zuen **landare** bat (indibiduo fotoautotrofoa litzateke).
4. Sodio **bikarbonatoa** (gatz mineralak eta karbonoa emulatuko lituzke).

Materialak prest genituela, botila handi batean hiru laurden ur utzi, eta bertan ere landarea erabat murgildu genuen. Bien bitartean, disoluzio karbonatatu bat prestatu genuen, eta haren laurden bati hiru tapoi eta erdi sodio bikarbonato erantsi genizkion. Disoluzio hori ondo nahastu ondoren, botila handian prestatutako urari gehitu zitzaion. Botila **eguzki-argiaren energiaren eraginpean** zegoela bi minutu itxaron ondoren, burbuilak agertu ziren hostoen inguruan, lurrazalera igotzen hasi zirenak: **landarea arnasten ari zen**.



| **3. Irudia:** fotosintesiaren azalpena egiteko grabatutako esperimentua.

Grafikoki dokumentatu ondoren, esperimentua gauzatu aurretik proposatutako gauza ugari berretsi ahal izan genituen, geroago aipatuko ditugunak.

## EMAITZAK

---

Egin dugun ikerketa eta esperimendazio bibliografikoko lanaren buruketa amaitu ondoren, gure hipotesiei ziurtasun eta argumentazio osoz erantzun ahal izan diegu. Datuak aztertzean eta alderatzean, konturatu gara, arazoaren atalean planteatutako zalantzaren erantzuna ezezkoa dela: gizateria osoaren errekaitua; teknologia hori aplikatuz, kasik ezinezkoa da, bere garapena galaraziko luketen oztopoekin aurrez-aurre egingo baitzuen. Hortaz, gure argitaratze-ikuspuntutik, txosten honek ROCOP teknikaren onurak erakutzeaz gain, **errealistikoki** begira egiten du etorkizunera, hala ere, itxaropenarekin.

Lehenik eta behin, gure bideoan egindako esperimendu fotosintetikoaren bidez egiaztatu ahal izan genuen **ROCOP teknika biomimetikoa zela**. Landareak arnasa hartzen zuela ikustean ( $O_2$ -ko burbuilatxoak ateratzen baitziren), landarearen  $CO_2$ -aren erabilera fisiologikoa baieztatzeraz ailegatu ginen, lanaren harroina finkoz jotzen.

Ezintasun horrek gaur egun baino ez du gure “**ezjakitasunaren**” aurka jotzen, etorkizunean gauzak alda baitaitezke, aurkikuntza horren bilakaera ahalbidetuz. Batez ere, makina horiek erabiltzeak dakarren kostu ekonomiko handiaren ondorio da ezintasun hori, energia berriztagarrien eta kimikaren merkatzearen bidez irteera emango zaiona teknologia honen hegemonia industrialak erdiesteko.

**Diru-eskakizun handi** hori, neurri handi batean, teknologia horren garapen eskasari zor zaio. Zergatik dago hain gutxi garatuta? Horrek bigarren hipotesia baliozkotzen du; izan ere, galderaren erantzuna **inbertsio gutxi** dagoela da, eta horren arrazoia gizartean oro har dagoen ezezagutza da, berritasunari atea ixten diona. Ezjakintasun hori bideoan agertzen den **inkestan** egiaztatu ahal izan dugu. Inkestatuetako inork ez zuen asmakizun hori ezagutzen, eta guztiek zioten horren arrazoia zela gai horietan dagoen **hedapen eskasa edo ezkutatze handia**.

Beraz, bi **hipotesi** horiek **nahiko lotuta** daude beren artean: ezin da gizateria aurkeztutako teknologiarekin hornitu, edozein aurrekontu izugarri igoko bailuke honek. Baina garestia da, inbertsioen ez-izateak (batez ere gizartearen desinformazioa dela eta) bere garapena ez du ahalbidetzen-eta.

Hala ere, esperimendazio bibliografikoaren bilaketa egitean, beharrezkoa iruditzen zaigu aipatzea ROCOP-aren zenbait aplikazioen errealismo erlatiboa etorkizun batean bere leherketa eragingo duen ezaugarri bitala da. Esperimendazio horren emaitzak  $CO_2$ -a hein batean murriztea izan dira, baina baita baliabideak eta prozesuak **optimizatzea** ere. Ikusi ahal izan dugunez, Asiako zenbait enpresek teknika hori aplikatu ahal izan dute haiei lotutako beste ekoizpen-lerro baten bidez atmosferara igorritako karbono dioxidoa bahituz. Hau da, atmosfera garbitu beharrean, kutsatzeari utzi diote, **hondakinei probetxua ateraz**. Ikuspuntu kritikotik, hori mirestekoa izango zen etorkizunean ROCOParen aplikazio bakarra izango balitz.

## ONDORIOAK

---

Ikerketa-lan hau prestatu eta egin ondoren, hainbat alor trebatu ditugu edo ikasteko aukera izan dugu. Jorratu dugun gaiari buruzko informazio egiaztatua lortzeko, **artikulu zientifiko** handiak erabiltzen eta edukia alderatzen ikasi behar izan dugu, testu zehatzagoa eta zientifikoagoa lortzeko. Gainera, iturriak kontrastatu behar izan ditugunez, informazioa zabalduz, sinplifikatu eta laburtu egin behar izan dugu, orri kopuru egingarri batean jende gehiagorengana iristen saiatzeko.

Ikasi edo hobetu dugu, halaber, bibliografiaren baldintzapean. Aipatu berri dugun horri guztiari esker, txostenak egiteko eta talde batu gisa lan egiteko dugun modua hobetu dugu, eta uste dugu etorkizun ez oso urrun batean hau lagungarria izan dakigukeela, adibidez, ikasketetan.

Idazteko dohain horiez gain, hizkuntza desberdinen erabilera hobetzen lagundu digu lan honek. Informazioa atera dugun artikulu zientifiko gehienak ingelesez idatzita zeuden, eta, beraz, gure **ingeles hiztegia** teknizismoekin handitu dugu, gure irakurketa-ulermena areagotzeaz gain. Ez dezagun ahaztu informazio hori guztia atzerriko hizkuntza batean euskaratzean hobetu egin dugula hizkuntza horren ezagutza, nahiz eta, jakina, oraindik asko dugun eboluzionatzeko.

Proiektu hau egin ondoren hausnartu dugun gauza interesgarri bat da irtenbide ezberdin asko daudela edozein arazo praktikoki konpontzeko. Irtenbide horietako asko ez ditugu ezagutzen edozein arrazoiengatik, eta arazo horiek konpontzeko manerarik ez dagoela pentsatzeko joera dugu, jakin baizik. Horretaz gain, konturatu gara arazo horiek konpontzeko gai den makina bat dagoela jakiten duzunean, ezin duzula zuzenean pentsatu zoragarria dela, baizik eta ikertu egin behar duzula haren onurak eta kalteak ikusteko.

Ondorioz, eboluzionatu ahal izan dugu, ez bakarrik taldean eta modu antolatuan lan egiten dakiten pertsona gisa, baita ikasle gisa ere, hiztegi berria hainbat hizkuntzatan ikasita eta txostenak idazten. Gainera, konturatu gara **pentsamendu kritikoa** izan behar dugula, egiazko iturrien informazioa erabiliz eta lortutako datuak egiaztatuz.

Amaitzeko, garrantzi bitalezkoa iruditzen zaigu aipatzea jendeari nola **zuzentzea** ikasteak asko lagundu digula. Eskuratutako ezagutzak eskala honetako proiektu batekin **erregistro** egokiarekin lan egitetik, gure lana oinarri hartuta ikerketa gehiagori atea irekitzera doaz, gure gaitasunekin batera elkarren osagarri izan direnak.

## BIBLIOGRAFIA ETA ERREFERENTZIAK

---

- Freethink (2021), *Artificial photosynthesis turns CO<sub>2</sub> into sustainable fuel*, YouTube, berreskuratuta: <https://bit.ly/3vltjMv>
- Janine Benyus (2005), *Biomimicry's surprising lessons from nature's engineers*, TED, berreskuratuta: <https://bit.ly/3kdRm0d>
- Julie M. Longo et al. (2016), Ring-Opening Copolymerization of Epoxides, ACS Publications, Chemical Reviews, berreskuratuta: <https://bit.ly/3LbMNjd>
- Kenny Phan (2018), *CO<sub>2</sub> into plastic*, YouTube, berreskuratuta: <https://bit.ly/3EI3eBe>
- Liang et al. (2021), *Recent Developments in Ring-Opening Copolymerization of Epoxides With CO<sub>2</sub> and Cyclic Anhydrides for Biomedical Applications*, Frontiers in Chemistry, berreskuratuta: <https://bit.ly/3LdWJso>
- Mark Herrema (2021), *Dell Air Carbon®*, Newlight, <https://bit.ly/39ekMcC>
- Mettler Toledo (2019), *Epóxidos - Grupos funcionales clave para la síntesis de polímeros*, Síntesis Orgánica, berreskuratuta: <https://bit.ly/3xMbd1>
- Veronique de Bruijn et al. (2019), *Photanol - A Biotech Revolution*, Photanol, berreskuratuta: <https://bit.ly/3OAJe7Y>
- Zbigniew Florjańczyk et al. (2022), *Polymeric Materials Based on Carbon Dioxide*, Polymers, berreskuratuta: <https://bit.ly/3k9K2D8>
- Irudiak [Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) lizentziapean daude.

## ESKERRAK

---

Esker onez aitortu nahi dugu gure irakasleak adeitasunez eta arduraz eskaini digun laguntza eta babes pedagogiko eta metodologikoa, bai moral bai dokumentu bidezkoa. Lan hau ez litzateke posible izango Jone Olaizolaren laguntzarik gabe, zientziaren artea zabaltzeko apeta iraunkorrek.

Era berean, eskerrak eman nahi genizkioke bereziki bideorako egindako inkestarako beharrezko informazioa eman ziguten guztiei, parkean emandako denbora galtzeko gogoarekin: María Jesús, José Luis, Ane eta Uxue.

Horrez gain, Elhuyar Fundazioari eskerrak eman nahi dizkiogu, denoi Zientzia Azokan parte hartzeko aukera eman digute-eta; eta gure gurasoei, senide eta lagunei euskarri morala eman digutenez gero, hemen leku bat utzi diegu baita ere.

Amaitzeko, asko gustatuko litzaiyuke, zuei, irakurle guztiei eskerrak ematea gure proiektua irakurtzeko denbora hartu duzue-eta, bi hilabete baino gehiago eman baititugu horretan lanean.