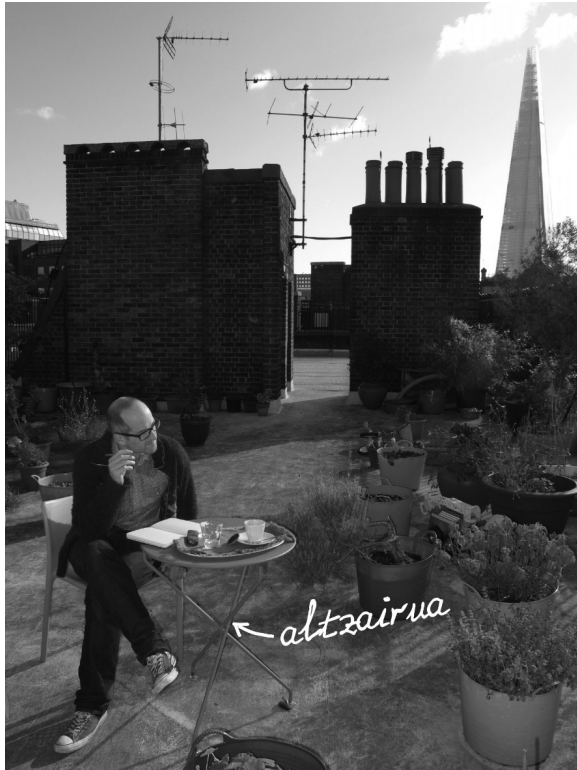


Ekaiak badu garrantzia



## 1. Menderakaitza



Sekula sinarazi ez zidatenez konfidentzialtasun-akordiorik taberna bateko komunetan, lasaitu ederra hartu nuen konturatzean Brian-ek ez zidala ezer gehiagorik eskatuko. Ordubate lehenago ezagutu nuen Brian. Dun Laoghaire-ko Sheehan's izeneko pubean bildu ginen, Dublin-en, garai hartan lanean nembilen lantegitik hurbil. Brian aurpegi gorrixkadun gizon bat zen hirurogei bat urtekoa, eta makila baten laguntzaz zebilen. Traje dotoreaz jantzita

agertu zen, eta ile fin gris-urdin horizatua zeukan. Etengabe ari zen *Silk Cut* zigarretak erretzen. Zientzialaria nintzela enteratu zenean, zuzen suposatu zuen bizi interesatuko zitzaidala aurreko mendeko 70eko hamarkadan berak bizi izandako istorioak entzutea, bizimodua Intel 4004 silizio-txipekin komertzializatuz ateratzen zuen garaikoak, horien artean bere irabazpideari buruzko kontakizun bat, zeinean 12.000 unitateko kutxak inportazioz lortzen baitzituen, kutxa bakoitzeko £1 (libera esterlina bat) ordainduz, ondoren horiek sortu berria zen industria informatikoan sorta txikietan saltzen baitzituen, unitateko £10 (hamar libera) kobratuz. Kontatu nionean aleazio metalikoak ikertzen ari nintzela Dublingo University College-ko Ingeniaritza Mekanikoaren sailean, pentsakor begiratu zidan, eta isilik geratu zen lehenengo aldiz. Komunera joateko aukera baliatu nuen.

Presaka idatzi zuen konfidentzialtasun-akordioa, bere ohar-libretatik erauzi berria zeukan orri batean. Idatzitako testua laburra zen. Esan zidan, sinpleki, bere asmakizuna azalduko zidala, baina alde zurretik baldintzat jarritz konfidentzialtasuna gordeko nuela. Trukean, libera irlandar bat ordainduko zidala. Xehetasun gehiago eskatu nizkion, baina, irrizko keinu batez, ezpainak ixteko erantzun zidan, kremailearen erara. Edozein kasutan, ez nuen ulertzen zergatik egon behar genuen hitz egiten komun ziztrin hartan. Brianen atzetik bestelako bezeroak ari ziren komunetik sartu-irteten. Pentsatu ere pentsatu nuen oihuka hastea, laguntza eske. Orduan, Brianek jakan bilatu, eta bolaluma atera zuen. Jarraian, libera bateko billete zimurtu bat praketako poltsikotik. Tematuta zegoen berea egiteko.

Sinatu nuen papera, grafitiz beterik zegoen horma baten kontra apoiaturik. Berak ere sinatu zuen, billetea eman zidan, eta papera agiri legal bihurtu zen.

Pubeko barrara geure edariek itzuli ginenean, adi entzun nion Briani asmatua zeukala bizar-orri kamustuak zorrozteko aparatu elektronikoa bat. Azaldu zidan, asmakizun hark irauli egingo zuen bizarra mozteko negozioa, jendeak aski izango baitzuen orri bakarra bere bizitza osorako. Kolpe batez, bizarra mozteko mila milioiko dolarreko industria pikutara joango zen, bera aberats bihurtuko zen eta planetako baliabide mineralen ustiaketa murriztuko zen. «Zer deritzozu?» galdetu zidan, eta ondoren, garaile-keinua eginez, zurrutada bakarrean irentsi zuen garagardoa.

Mesfidantzaz begiratu nion. Lehenago edo geroago, zientzialari orok entzun behar izaten du zerbait asmatu duen zorokilo baten azalpena. Gainera, bizar-orrien gaia delikatua zen niretzat, segidan gogoratu bainintzen Hammersmith-eko geltokiko nasan morroi hark eraso ninduenetik sorbaldan neukan orbain luzangaz. Ezeroso sentitu nintzen, baina azalpenarekin jarraitzeko keinua egin nion eta entzuten jarraitu...

Bitxia bada ere, hogeigarren mendera arte zientzialariek ezer gutxi zekiten altzairuari buruz. Ordura arte, hainbat milurtekotan zehar, material horren fabrikazioa lanbide arrunt modura pasatu zen belaunaldiz belaunaldi. Oraindik hemeretzigarren mendean fisika, astronomia eta kimika harrigarriro aurreratu zirenean arlo teorikoan, Industria Iraultzaren oinarria izandako burdinari eta altzairuari buruzko jakintza erabat enpirikoa zen; izan ere, material horiek lantzeko, nahitaezkoa zen intuizioa eta behaketa arretatsua, zorte handia izateaz gain. (Izan ote zuen Brianek zorte berbera izan kasualitatez, bizar-orriak zorrozteko metodo iraultzaile berri bat aurkitua izateko? Konturatu nintzen ni ez nengoela prest ideia hori baztertzeko).

Harri Aroan metalak oso urriak ziren, eta hortaz, oso preziatuak, zeren planetan existitzen ziren bakarrak kobrea eta urrea baitziren, eta horiek maiztasun txikiz jalkitzen baitziren lurrazalean (gainerako metal ia guztiak euren meetatik bereizi eta erauzi behar izaten dira). Burdina pixka bat ere aurkitzen zen noizbait, gehienbat zerutik eroria meteorito modura.

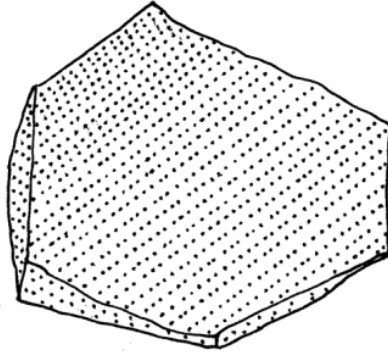


**Radivoke Lajic, 2007tik aurrera bere etxearen aurka talka egindako bost meteoritoak eskuetan dituela.**

Bosniako iparraldean bizi den Radivoke Lajic-ek sobera ezagutzen ditu zerutik eroritako metal-zati bitxi horiek. Hain zuzen, 2007 eta 2008an gutxienez bost meteoritoren talka jasan zituen bere etxeak, eta, gertaera hori estatistikoki hain probabilitate txikikoa zenez, agian estralurtarrak erasotzen ari zitzaizkiola uste izan zuen, eta haren hitzak ez ziren burugabekieriaz hartuak izan. Lajic-ek bere susmoak publikoki azaldu ondoren, haren etxeak beste meteorito baten talka jasan zuen. Zientzialariek egiaztatu dute harri haiek benetako meteoritoak direla, eta ikertzen ari dira etxearen inguruko eremu magnetikoaren izaera, ea horrela esplikatu dezaketen ezohiko fenomeno harrigarri hori.

Kobrea, urrea eta burdina meteorikoa falta zirenean, Harri Aroko arbaso zaharrek suharri, egur eta hezurrezko tresnak fabrikatzen zituzten. Horrelako tresnekin zerbait egiten saiatu den edonork ondo daki ez direla baliagarriak: esate baterako, egurra apurtu, arrakalatu edo ezpaldu egiten da, kolpeak jarraituki emanez gero. Berdin gertatzen da harri eta hezurrekin. Metalak erabat desberdinak dira, ordea, erraz landu baitaitezke: jariatu egin daitezke, xaflakorrak dira. Are gehiago, gogortu egiten dira kolpeen bidez: mailukadaka, gogortu egin dezakezu metal-orria. Gainera, prozesu hori alderantzikatu egin daiteke berotuz gero, sutan jartzean bigundu egiten baitira. Duela hamar mila urte propietate horiek deskubritu zituzten lehenengo gizakiak konturatu ziren metala harria bezain gogorra zela, baina askoz plastikoagoa, eta behin eta berriro berrerabil zitekeela, ia mugarik gabe. Bestela esanda, material ezin egokiagoa deskubritu zuten ebaki-tresnak fabrikatzeko, hala nola hainbat gai ebakitzeko baliagarri ziren aizkora, zizel edo labanak.

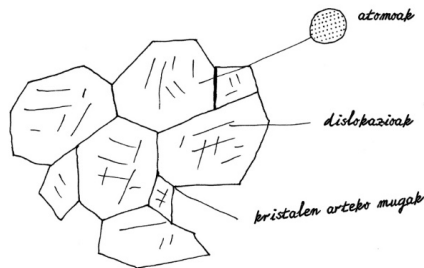
Gure arbasoak harritu egingo ziren ziurrenik, metalek bigun izatetik gogor izatera pasatzeko zeukaten gaitasunagatik. Laster konturatu nintzen, Brianen ustez ere nolabaiteko magia zela gaitasun hori. Azaldu zidan entsegu eta errorearen metodoaz asmatua zuela bere makina, ia ezer jakin gabe fisikaz eta kimikaz, eta bazirudien ondo atera zitzaiola saiakuntza, antza. Nolanahi ere, nigandik nahi zuena zen bizar-orrien zorrotasuna neur nezan, makina erabili aurretik eta ondoren. Nire irizpena jakin behar zuen, bizar-orrien fabrikatzaileekin negoziatzen hasteko.



**Bizar-orrien barnean dauden kristalen antzeko metal-kristal bat.  
Lerrokatuak atomoak adierazten dituzte.**

Briani ohartarazi nion ez zela nahikoa izango neurketa gutxi batzuk egitearekin, seriooki aintzat har zezaten nahi bazuen behintzat. Horren arrazoia da metalak kristalez osatuta egotea. Bizar-orri batek milaka milioi kristal dauzka, eta atomoak modu berezi batean daude antolaturik kristal bakoitzean. Atomoen arteko loturek euren tokian iraunarazten dituzte, sendotasuna ematen diete kristalei. Bizar-orria kamustuta geratzen da ileekin jasandako talka ugarien kausaz, zeintzuen ondorioz kristalen parte batzuk, indarrez behartuta, beste modu batera berrantolatzen baitira, hain zuzen ere, lotura batzuk apurtuz eta hortz ñimiñoak sortuz orriaren ertzean. Makina elektronikoko batez zorroztzeko, berak proposatzen zuen bezala, alderantzikatu egin beharko litzateke prozesu hori, edo, gauza bera dena, birkokatu egin beharko lirateke atomoak hasierako tokian, halako moldez non berreraiki egingo baitzen hasierako egitura berbera. Seriooki hartua izan zedin nahi bazuen, Brianek frogatu egin beharko zukeen berreraiketa hori gertatzen zela kristalen mailan, eta gainera, azalpen egiantzeko bat eman beharko zukeen, maila atomikoan prozesu hura posible bihurtzen zuen mekanismoaz. Neure aldetik azaldu nion ezen beroak, elektrikoki sortua izan zein bestela sortua izan, berak aipatzen zuen efektuaren alderantzizkoa zeukala: bigundu egiten ditu metalaren kristalak. Brianek bazekien hori, baina tematu zen esanez, bere makinak ez zuela bizar-orrien altzairua berotzen.

Metala kristalez osatuta egotea bitxia begitandu dakiguke, zeren kristalei buruz daukagun irudia harribitxi batena baita, hala nola diamante edo esmeraldena, alegia, harri garden eta poliedriko batena. Metalen izaera kristalinoa ezkutatuta dago guretzat, kristal metalikoak opakoak direlako eta gainera, kasurik gehienetan, mikroskopikoak. Mikroskopia elektroniko batez ikusita, ostera, metal-zati bateko kristalak zoladura oso irregular bat dirudite, eta kristal bakoitzean zirrimarra batzuk ageri dira: *dislokazioak* dira. Metalaren kristaletako akatsak dira, perfektua izan behar lukeen atomoen antolaera kristalinoaren desbideraketak adierazten dituztenak —bertan egon behar ez ziren atomoen perturbazioak—. Horrela esanda, kaltegarriak dirudite, baina oso erabilgarriak dira. Dislokazioak dira metalak hain berezi egiten dituztenak, zeren, kristalaren forma-aldaketa ahalbidetzen dutenez, hainbat erreminta berritzaile fabrika baitaitezke metalekin, hala nola sorbatzak, eta azken batez, bizar-orriak.



**Irudi honetan dislokazio gutxi batzuk adierazi dira, horrela errazago ikusteko. Metal arruntek ezin konta ahala dislokazio dituzte, elkarrekin teilakatu eta gurutzatzen direnak.**

Ez da mailurik erabili behar dislokazioen abantailez jabetzeko. Paper-klip bat tolesten duzunean, izatez, metala osatzen duten kristalak tolesten dira. Kristalak tolestu ezingo balira, klipa hauskorra litzateke, makilatxoa bezala, eta tolesten saiatzean apurtu egingo litzateke. Portaera plastiko hori kristalaren barnean higitzen diren dislokazioek sorturikoa da. Dislokazioak kristal bakoitzaren barnean higitzean, material-zatik txikiak desplazatu egiten dira kristalaren alde batetik bestera. Eta soinuaren abiaduran egiten dute. Klip bat tolestean, gutxi gorabehera 100.000.000.000.000 dislokazio mugiarazten dituzu, ehundaka metro segundoko abiaduran. Nahiz eta



dislokazio bakoitzak kristalaren zati ñimiño bat desplazatzen duen soilik (atomoen plano bat, izatez), atomoen kopurua aski handia da, halako neurritz non kristalari ahalbidetzen baitio metalari plastiko superresistente baten moduko portaera izatea, eta ez harri hauskor batena bezalakoa.

Metal baten fusio-puntuak bere atomoen kohesio-gradua adierazten du eta, beraz, dislokazioen higikortasun-maila. Esate baterako, berunak fusio-puntu oso baxua du eta, hortaz, dislokazioak ohiz kanpoko erraztasunez higitzen dira eta, horregatik, metal oso biguna da. Kobreak fusio-puntu altuagoa du, eta gogorragoa da. Beroketak ahalbidetu egiten du dislokazioak higitzea eta berrantolatzea, eta horrek metala biguntzea dakar, beste zenbait efektuekin batera.

Metalen aurkikuntza historiaurreko zedarrri bat izan zen, baina ez zuen funtsezko arazoa konpondu, eta hori zen inguruan metal askorik ez egotea. Zer esanik ez, bazegoen pazientzia handiz zain egotea zerutik metal-zatiak erori arte (Lurraren gainazalera zenbait kilo erortzen dira urtero, nahiz ia beti itsasora izan). Noizbait norbaitek Harri Haroaren amaiera ekarriko zuen aurkikuntza bat egin zuten, zeinak atea ireki baitzuen metal-kantitate ia mugaezinez hornitu ahal izatea. Arroka berdexka bat deskubritu zuten, su oso berotan eta sugar goriz inguraturik metal distiratsua bihurtzen zena. Harri hura malakita zen, eta metala, kobrea. Aurkikuntza hark liluratu egin bide zituen gure arbasoak. Bat-batean jadanik ez zeuden arroka inertez inguraturik, bizirik zegoela zirudien ekai misteriotsu batez baizik.

Metal bihurtzearen prozesua harri-mota jakin batzuen kasuan soilik zen posible, hala nola malakitarenean, zeren, mineralak identifikatzeaz gain, oso ondo kontrolatu behar baitziren suaren baldintza kimikoak. Nolanahi ere, susmo txarrak hartuko zituzten balio ez zuten harriekin, alegia, nahi adina berotu arren harri izaten segitzen zutenekin, uste izango baitzuten propietate ezkutuak zituztela. Zuzen zeuden. Berotze-prozesuak ondo funtzionatzen du hainbeste mineralekin, baina milaka urte pasatu behar izan ziren, prozesu horren kimika ulertzeko (hots, sutan sortzen diren arroken eta gasen arteko erreakzio kimikoak kontrolatuz) eta metalen galdaketa asmatzean benetako aurrerapausoa iritsi zen arte.

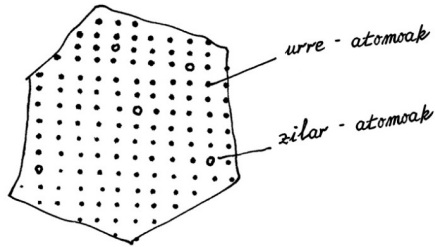
Aldi berean, K.a. 5.000. urtearen inguruan, hobetzen hasi ziren kobreak fabrikazio-prozesua, horretarako entsegu eta errorearen metodoa erabiliz.

Kobrezko tresnen lanketak izugarrizko aurrerapen teknologikoa ekarri zuen, bestelako teknologien sorkuntza ahalbidetu zuena, eta baita lehenengo hirien eta zibilizazio handien sorrera ere. Egiptoko piramideak adibide ezin hobea dira kobrezko tresna askorekin eraiki zitekeena ulertzeko. Piramide bakoitzeko harri-bloke bakoitza banan-banan erauzten zen harrobietatik eta eskuz lantzen zen kobrezko zizelekin. Estimatu denaren arabera, 10.000 tona kobre erauzi zituzten antzinako Egipton, langintza hartarako behar izan ziren 300.000 zizel fabrikatzeko. Egundoko lorpen hura gabe, lanean nahi adina esklabo jarri arren ere, ezinezkoa izango zen piramideak eraikitzea, ez baita praktikoa harriak metalezko tresnarik gabe zizelkatzea. Are harrigarriagoa da, gainera, kontuan izanik kobrea ez dela materialik egokiena harkaitzak zizelkatzeko, gogortasun eskasa duelako. Kareharria kobrezko zizel batez lantzen denean, erremintak ez du luze irauten kamustu barik. Ziurrenik ere, kolpe gutxi batzuk eman ondoren, zorroztu egin beharko zituzten behin eta berriro zizelak, baliagarriak izan zitezten. Arrazoi berberetatik, kobrea ez da ekai egokia bizar-orriak fabrikatzeko.

Urrea ere metal erlatiboki biguna da, halandaze eratzunak ia inoiz ez dira urre puruz egiten, erraz marratzen baitira. Dena den, zilar edo kobrearen portzentaje txikiekin aleatuz gero, kolorea aldatzeaz gain —zilarrak zuriago bihurtzen du, eta kobreak, gorriago—, urrea asko gogortzen da. Metalen propietateetan aleazioek sortzen dituzten aldaketek are xarmagarriago egiten dute metalen azterketa. Urrea zilarrarekin aleatzen denean, galde dezakezu nora doazen zilar-atomoak. Erantzuna da urre-kristalaren egituraren barnean kokatzen direla, bertan urre-atomoen tokia bereganatzen dutela, eta kristal-sarearen barruko ordezipen hori da urrea gogortzen duena.

Oro har, aleazioak metal puruak baino gogorragoak izaten dira, arrazoi simple batengatik: metalari gehitzen zaizkion elementuen atomoak ostalariarenak ez bezalako tamainakoak eta egitura desberdinetakoak izaten dira, halako gisan non, kristalaren egitura kokatzean, askotariko perturbazio mekaniko eta elektrikoak sortzen baitituzte, eta gertaera horrek funtseko efektu bat du: zaildu egiten du dislokazioen higidura. Eta dislokazioek higitzeko zailtasunak badituzte, orduan metala gogorragoa da, eta ondorioz, zailagoa da baita metaleko kristalen forma-aldaketa gertatzea ere. Aleazioen diseinua da, nolabait esateko, dislokazioen higidura oztopatzeko artea.

Atomoen ordezpena modu naturalean gertatzen da bestelako kristaletan ere. Aluminio oxidoaren kristala kolorega da, baina urdin bihurtzen da burdina-ezpurutasunak gehitzean: horrela, zafiroa deritzon harribitxia sortzen da. Aluminio oxidoaren kristal berberari kromo-ezpurutasunak gehitzean, ordea, errubia izeneko harribitxia lortzen da.



**Zilarrez aleaturiko urrea eskala atomikoan, eskematikoki erakutsiz nola ordezten dituzten zilar-atomoek urre-atomo batzuk kristalean.**

Zibilizazioaren etapa handien izenak, Kobre Arotik Brontze Arora eta Burdin Arora, gero eta aleazio gogorragoak erabiltzeari dagozkio. Kobrea metal ahula da, baina naturan dago eta funditzeko erraza da. Brontzea eztainu-kantitate txikia daukan kobrearen aleazio bat da, batzuetan artseniko pixka bat ere badaukana, eta kobrea baino askoz gogorragoa da. Hortaz, trebetasun nahikoa izanez gero, baldin kobrea badaukazu eta zer egiten ari zaren badakizu, ahalegin gehigarri pixka bat eginez erraz fabrika ditzakezu kobrezkoak baino hamar aldiz gogorrago eta erresistenteagoak diren armak eta bizar-labanak. Arazo bakarra da eztainua eta artsenikoa oso urriak direla. Hain zuzen, arrazoi horrexengatik sortu ziren Brontze Aroan zenbait merkataritza-bide, eztainua Kornualles eta Afganistandik Ekialde Ertaineko zibilizazioaren erdiguneetara eramateko.

Labana modernoak ere aleaziozkoak dira baina, Briani azaldu nionez, aleazio oso berezi batekoak, zeinaren existentziak hainbat buruhauste eragin baitzizkien gure arbasoei milaka urtetan zehar. Altzairua da, burdinaz eta karbonoz osaturik dagoen aleazioa, brontzea baino are gogorragoa dena; gainera, beraren osagaiak askoz ugariagoak dira: ia arroka guztiek dute burdina pixka bat, eta karbonoa edozein suren erregaietan dago. Gure arbasoak ez ziren konturatu altzairua aleazio bat zenik —ezta ere egur-ikatzean dagoen

karbonoa burdinaren kristaletan sartzen zenik berotu eta formaz aldatzeko prozesuan—. Karbonoak ez dio horrelakorik egiten kobreaki galdatzean, ezta eztainu edo brontzeari ere, baina bai burdinari. Ziurrenik, fenomeno hori misterio ulertezina irudituko zitzaien. Gaur egun, mekanika kuantikoari esker, benetan esplikatzen dugu zergatik gertatzen den hori (altzairuaren kasuan, karbono-atomoek ez dituzte burdina-atomoak ordeztan, baizik eta estutu egiten dira haien artean eta, horrela, kristal luzatuak eratzen dituzte).

Badago beste arazo bat ere. Burdina karbono gehiegirekin galdatzen denean —adibidez, aleazioak % 1 karbono eduki ordez % 4 karbono daukanean—, burdina oso hauskor bihurtzen da, eta orduan ez du balio lanabesak eta armak fabrikatzeko. Eragozpen hori oso larria da, suaren barruan karbono asko dagoelako. Hortaz, burdina sutan denbora luzeegian utziz, edo bertan likido bihurtuz gero, karbono-kantitate handiegia sartzen da metalaren kristaletan, eta horrek asko hauskortzen du aleazioa. Karbono-proportzio handia zuten altzairuzko ezpatak guduaren erdian apurtzen ziren sarri.

Hogeigarren mendearen hasieran aleazioen izaera zehaztasunez ulertu eta esplikatu zen arte, inork ez zekien zergatik funtzionatzen zuten ondo altzairu batzuen fabrikazio-prozesuek, eta zergatik beste batzuek, ez. Entsegu eta errorearen metodoak erabakitzen zen zein prozesu ziren arrakastatsuek, eta horiek belaunaldiz belaunaldi transmititzen ziren, sarritan lanbideko sekretu modura. Baina, lapurtuak ziren kasuan ere, teknika hain izaten zen korapilatua, ezen beste fabrikatzaile batek prozesua doitasunez imitatzen probabilitatea oso txikia baitzen. Zenbait kulturatako tradizio metalurgikoak ospetsu egin ziren kalitate handiko altzairuak fabrikatzeagatik, eta haiei esker euren zibilizazioek aurrera egin zuten.

Oxfordeko Unibertsitateko Richmond irakasleak hobi berezi bat aurkitu zuen 1961ean, erromatarrek gure aroko 89. urtean induskatua. Barruan gordeta zeuzkan 763.840 iltze txiki (bi hazbetekoak), 85.128 tamaina erdiko, 25.088 handi eta 1.344 iltze oso handi (hamasei hazbetekoak). Altxor hura burdinaz eta altzairuz osatuta zegoen, ez urrez, eta horregatik, jende asko guztiz desengainaturik geratu zen aurkikuntzarekin. Baina ez Richmond bera. Zergatik —galdetu zion bere buruari— erabaki ote zuen legio erromatar batek hainbat tona burdina eta altzairu lurperatzea?

Legio hura egona zen Agricola-ren<sup>3</sup> gotorleku aurreratuenen kokaturik, Inchtuthil izeneko toki batean, gaur egungo Eskozian. Erromatar Inperioaren mugaldeen zegoen, eta helburua zuen mugak babestea basatitzat hartzen zituzten tribuen mehatxuetatik: zeltengandik. Bost mila gizoneko legioa erretiratzeko ari zen sei urtez okupatzen egondako lurretatik, eta prozesuan, gotorlekua abandonatu zuten. Nolanahi dela, ahaleginak egin zituzten ezer probetxuzkorik ez uzteko euren etsaiei. Puskatu egin zituzten janari eta edariaren edukiontzi guztiak, eta suntsitu eta erre egin zuten gotorlekua. Baina ez ziren ase horrekin. Errautsetan gotorlekuko enborrei eusten zioten altzairuzko iltzeak zeuden, eta haiek oso pieza baliagarriak ziren, ezin utz zitzaketenak eskualdetik kanporatu zituzten barbaroen eskuetan. Izan ere, burdinak eta altzairuak ahalbidetu zieten erromatarrei akueduktuak, itsasontziak eta ezpatak egitea: haiei esker eraiki ahal izan zuten inperioa. Etsaiei iltzeak uztea arsenal bat oparitzea bezain arriskugarria zen, eta horregatik, hobi batean lurperatu zituzten, hegoalderantz abiatu baino lehen. Ezkutuak eta armak eramateaz gain, ziurrenik altzairuzko bestelako objektu txiki batzuekin batera, *novacili* izenekoak ere hartu zituzten, euren bizitza zibilizatu pertsonifikatzen zutenak: erromatarren bizar-labanak. *Novacili* haiei esker, eta baita haietaz baliatzen ziren bizarginei esker, ahal izan zuten erromatarrek beren erretiran bizar garbi-moztuekin abiatzea eta, horrela, lur haietatik atera zituzten barbaroen saldoengandik bereiztea.

Altzairugintzaren inguruko mistikak zenbait mito sortu zituen historian zehar, eta, kasurako, erromatarren erretiraren ondoko Britainiaren lurralde-batasunaren eta ordenaren berrezarpena sinbolizaturik daude altzairurik iraunkorrenaz: Arturo erregearen *Excalibur* ezpata legendarioaz, zeinari botere magikoak esleitu baitzitzaizkion batzuetan, zuzenki erlazionatzen zirenak ingelesten subiranotasunarekin. Garai hartan, armak guduaren erdian apurtzen ziren sarritan; ondorioz, zaldunak defentsarik gabe geratzen zirenez, erraz ulertzen da zaldun indartsu baten eskuetan altzairu bikaineko ezpata edukitzeak zergatik adierazten zuen zibilizazioak kaosaren aurkako garaipena lortzea. Bestalde, altzairuaren fabrikazio-prozesua halabeharrez oso erritualizatuta zegoela kontuan izanik, horrek laguntzen du ulertzen zergatik iritsi zen metal hori magiarekin elkaturik egotera.

---

3. Gnaeus Julius Agricola (40-93), Britainiako gobernari erromatarra (77-85). (Itzultzailearen oharra)

Fenomeno hori bereziki arrunta izan zen Japonian, non zenbait aste behar baitziren samurai-espata bat galdatzeko, prozesu osoa zeremonia erlijioso baten parte izanik. *Ama-no-Murakumo-no-Tsurugi* (hitzez hitz esanda ‘zeruko hodeiak biltzen dituen espata’) izeneko espatak ahalbidetu omen zion Yamato Takeru gerrari ospetsuari haizea menderatzea eta etsaiak garaitzea. Istorio eta erritual fantastikoak gorabehera, espata batzuk beste batzuk baino hamar aldiz gogorragoak eta zorrotzagoak egin ahal izatea ez zen izan mito bat, errealitatea baizik. Izan ere, hamabosgarren mendean samuraien espatak ziren inoiz ondoen fabrikaturikoak, eta horrela izaten jarraitu zuten, 500 urte geroago metalurgiaren zientzia sortu arte.

Espata haiek *tamahagane* (‘altzairuzko bitxia’) zeritzon altzairu berezizkoak ziren, zeina Ozeano Bareko harea bolkanikoan zegoen burdinazko mea beltzetik eratuta baitzegoen (harea hori magnetitaz osatuta dago gehienbat, eta lehenengo iparrorratzen orratz magnetikoak fabrikatzeko erabili zen). Altzairua *tatara* izeneko buztinezko ontzi oso handi batean lantzen zen, hiru metro eta erdi luze eta metro bat pasatxo zabal eta metro bat sakon zena. Ontzia piztu egiten zen —aurretik gogortua buztin moldeatuzko zeramika batean—, barruan sua isiotuz. Suturik zegoela, ontzia harea beltzez eta egur-ikatzeko geruzez betetzen zen artatsuki, zeramikazko labean poliki kontsumitzen zirenak. Prozesuak astebete oso batean irauten zuen, gutxi gorabehera, eta lau zapabost pertsonaren etengabeko arreta eskatzen zuen, suaren tenperatura aski altua mantendu behar baitzen, eta horretarako, airea eskuzko hauspo batez ponpatzen zen *tataran*. Azkenean ireki egiten zen ontzia, eta *tamahagane* altzairua ateratzen zen errautsetatik eta ikatzaren eta harearen hondarretatik. Era horretan, itxura eskaseko altzairu baten zenbait zati lortzen ziren, karbono-proporzio desberdinetakoak, batzuk proporzio oso altukoak eta beste batzuk oso baxukoak.

Samurai haiek sarturiko berrikuntzaren funtsa karbono asko zeukan altzairua eta karbono gutxi zeukana ondo bereizten jakitea izan zen: lehena gogorra baina hauskorra zen; bigarrena, erresistentea baina aldi berean erlatiboki biguna. Begiz aztertuz, eskuz testura sentituz eta kolpeak ematean ateratzen zen zarataren arabera zekiten biak bereizten. Mota desberdinetako altzairuak banandu ondoren, ziur zeuden karbono gutxiko altzairua espataren erdigunerako erabiltzen zutela. Horrek sekulako erresistentzia ematen zion espatari, ia sinestezina, eta horrela zaildu egiten zuen espata borrokaldiaren

erdian apurtzea. Ordea, sorbatzean soldatu egiten zuten karbono asko zeukan altzairua, zeinak, hauskorra izan arren, sekulako gogortasuna baitzuen eta zehatz zorrotzu baitzitekeen. Karbono-portzentaje handiko altzairu zorrotza karbono-portzentaje txikiko altzairu gogorraren gainean estalki modura erabiliz, askok ezinezkotzat zutena lortu zuten: beste ezpata eta armadurekin jasandako talkak erresistitzea eta, aldi berean, aski zorrotzuta irautea, buruak mozteko gai izateko lain. Bi ezaugarrietan, onenak.

Industria Iraultzara arte, beste inork ez zekien fabrikatzen samuraiek galdatutakoa bezain altzairu gogor eta sendorik. Garai hartan, europarrak egitura handiagoak eraikitzen hasi ziren burdinurtuaz —hala nola burdinbideak, zubiak eta itsasontziak—, material hori kantitate handitan ekoitz baitzitekeen segidan moldeetan isurtzeko. Dena den, burdinurtuak arrakalatzeko joera itzela zeukan zenbait zirkunstantzian. Ingeniaritzalanak are handizaleagoak izan ahala, zirkunstantzia horiek gero eta maizago gertatu ziren.

Istripu larrienetako bat Eskozian gertatu zen. 1879ko abenduaren 28ko gauean, munduko zubirik luzeena, burdinurtuzko Tay Rail Bridge izenekoa, hondoratu egin zen neguko haizete bortitzen eraginez. Hirurogeita hamabost bidaiari garraiatzen ari zen trena amildu egin zen Tay ibaira, eta handik ez zen inor bizirik atera. Hondamendi hark askok susmatzen zutena egiaztatu zuen, alegia, burdina ez zela materialik onena eraikuntza haietarako. Samuraien ezpatak bezain sendoa izango zen altzairua fabrikatu behar zen kantitate handitan.

Egun batean, Zientziaren Aurrerapenerako Elkarte Britainiarra<sup>4</sup> izeneko elkartearen bilera batean, Sheffield-eko ingeniari batek, Henry Bessemer-ek, altzairu egokia lortua zuela aldarrikatu zuen. Berak asmatuiko prozesuak ez zuen samuraien prozedura korapilatuen premiarik. Altzairu likidozko tonak fabrika zitezkeen. Iraultza izan zen fabrikazioan.

Bessemerrek asmatuiko prozesua sinpletasun harrigarrikoa zen. Burdinurtuan airea injektatzean zetzan, halako moldez non, aireak burdinan zegoen karbonoarekin erreakzionatzean, oxigenoak karbonoa erauzten baitzuen metaletik, eta karbono dioxidoaren forman ateratzen zuen. Metodo hura asmatzeko, kimikaren arloko ezagutza eduki behar zen eta, lehen

4. British Association for the Advancement of Science.

aldiz, oinarri zientifikoa eman zitzaion altzairuaren fabrikazioari. Gainera, oxigenoaren eta karbonoaren arteko erreakzioa oso bortitza zen, eta bero-kantitate handia askatzen zuen. Era horretan, igo egiten zen altzairuaren tenperatura, oso bero eta likidoa mantenduz. Prozesu hori erraza zen, eta eskala industrialean aplika zitekeen; soluzio egokia zen.

Bessemerren prozesuak eragozpen bakarra zeukan, alegia, ez zuela funtzionatzen. Behintzat, hori esan zuten praktikan jartzen saiatu zirenek. Handik gutxira, Bessemerren baimena erosi eta makinerian dirutza handia inbertitu zuten fabrikatzaileek burdina hauskorra baino ez zuten lortu, eta euren dirua itzultzea exijitu zioten Bessemerri. Ez zeukan erantzunik haientzat. Asmatzaileak ez zuen ulertzen zergatik zen eraginkorra metodoa kasu batzuetan, eta zergatik ez beste batzuetan, baina lanean jarraitu zuen prozedura hobetzen eta, Robert Forester Mushet metalurgialari britainiarraren laguntzaz, egokitu egin zuen bere teknika. Karbonoaren portzentajea gutxi gorabehera % 1eko mailara zuzenean jaitsi ordez, Mushetek iradoki zuen lehenik karbonoa erabat erauztea, eta ondoren karbono gehitzea portzentajea % 1era iritsi arte. Era horretan eginez, prozesuak ondo funtzionatzen zuen eta errepikatu egin zitekeen.

Zer esanik ez, Bessemerrek metodo berria azaldu zuenean, industrialariak beste iruzur bat zela uste izan zuten, eta ez zioten kasurik egin. Tematuta zeuden ezin zitekeela fabrikatu altzairurik burdina likidotik abiatu, eta Bessemer iruzurgilea zela. Azkenean ez zuen beste erremediorik izan, bere fabrika propioa sortzea eta ekaia bere kontura fabrikatzen hastea baino. Urte gutxi batzuk geroago, Henry Bessemer & Co. enpresa bere lehiakideak baino are kantitate handiagotan fabrikatzen hasi zen altzairua, askoz kostu txikiagoarekin, halako moldez non, fabrikatzaileek prozesu berriaren patentea erosi behar izan baitzuten azkenean, eta Bessemer oso aberats egin baitzen, makinaren aroari hasiera emanez.

Brian beste Bessemer bat izan ote zitekeen? Agian kasualitatez aurkitua ote zuen bizar-orrien sorbatzeko metalaren egitura kristalinoa berrantolatzeke metodo bat, eremu elektriko eta magnetikoen eraginez, eta, berak zergatia ulertu ez arren, prozesuak ondo funtzionatzen ote zuen? Azken batez, ameslariei ez zaie falta euren asmakizunez iseka egiten dieten maiseatzaileak, gero, garaile atera direla ikustean, lotsaturik geratzen direnak. Askok absurdotzat hartu



zuten *airea-baino-astunagoa* zen makina hegalaria eraikitzekeo ideia, eta gaur egun guztiok bidaiatzen dugu horrelako aparatuetan. Gauza bera gertatu zen telebista, ordenagailu eta sakelako telefonoekin —horiek guztiak burla artean sortu ziren—.

Hogeigarren mendera arte, altzairuzko labanak eta zirujauen bisturiak oso garestiak ziren. Eskuz fabrikatu behar ziren kalitate handieneko altzairuz, mota horretakoa baitzen nahiko doitasunez zorrotz zitekeen ekai bakarra, gure aurpegiko biloa erraz eta zailtasunik gabe mozteko, erabiltzaileak zauririk ez egiteko moduan. (Bizar-orri kamustua erabili duen edonork ondo jakingo du zer min ematen duen ebaki txikiak). Aireak eta urak altzairua korroitzen dutenez, orria dugunean, oxidatu egiten da, eta sorbatza herdoildu. Horregatik, milaka urtetan zehar, bizarra mozten hasi aurretik, prestaketako erritual berezia erabiltzen zen: larruzko zerrenda batekin aurrerantz eta atzerantz igurtziz zorrotzen zen labana. Sinesgaitza egingo zaizu larrua bezain biguna den material batek efektu hori sorraraztea, eta zuzen egongo zara. Labana benetan zorrotzen duena larrua inpregnatzen duen zeramika-hautsa da. Antzina, «bitxigileen gorrixka» deritzon mineral bat erabiltzen zen horretarako, baina gaur egun ohikoa da diamante-hautsa erabiltzea. Altzairuaren hegala zerrendan igurtztean, diamante-partikula gogorrak kontaktuan jartzen dira altzairuarekin eta metalaren kantitate txikiak eliminatzen dituzte, sorbatza oso zorrotz utziz.

Hori guztia 1903an aldatu zen, King Camp Gillette izeneko enpresari estatubatuarrak Bessemer metodoaz kantitate industrialetan ekoiztutako altzairu merkea erabiltzea erabaki zuenean, «erabili eta botatzeko bizar-orriak» fabrikatzeko. Asmakizun horrek demokratizatu egin zuen bizar-mozketa. Haren ikuspegia izan zen, bizar-orriak zorrotzeko premia gaindi zitekeela orriak oso merke salduz, halako moldez non, kamusten zirenean, orria botatzea baitzen errazena. Urte hartan bertan, 51 labana eta 168 bizar-orri saldu zituen; hurrengo urtean, 90.884 labana eta 123.648 orri. Jadanik 1915ean, Gillette korporazioak lantegiak zituen Estatu Batuetan, Kanadan, Ingalaterran, Frantzian eta Alemanian, eta bizar-orrien salmenta hirurogeita hamar milioi unitatetik gorakoa izan zen. Erabili eta botatzeko bizar-orria elementu iraunkor bihurtu zen bainugela guztietan, eta jadanik jendeak ez zeukan zertan joanik bizarginarengana. Eta ohitura horrek gure egunotara arte iraun du: elikagai naturalei dagokienez jende asko jatorrizko ohituretara

itzuli den arren, inori ez zaio bururatu ilea kobrezko aizto batez ebakitzea, ezta bizarra labana kamuts batez moztea ere.

Gilletteren negozio-eredua oso irudimentsua zen arrazoi asko tarteko, horietako bat izanik, zalantzarik gabe, labanak laster kamusten zirela erabileragatik eta herdoiltzeagatik, horrela negozioaren errepikapena ziurtatuz. Baina istorio horrek azken biraketa bat izan zuen, beste berrikuntza bat etorri baitzen, prozedura harrigarriki xume bat, kasualitatez aurkitu zena.

Hain zuzen, potentzia europarrak Lehenengo Mundu Gerrarako armagintzan prestatzen ziharduten garaian, 1913an, Harry Brearley aleazio metalikoak ikertzen ari zen, pistola-kanoiak hobetzeko asmoz. Ingalaterrako Sheffield hiriko laborategi metalurgiko batean ziharduen lanean, altzairua elementu desberdinekin aleatuz, eta laginak urtu eta moldetan isuri ondoren, haien gogortasuna mekanikoki neurtuz. Brearleyk bazekien altzairua burdina eta karbonoaren aleazioa zela, eta beste hainbat elementu ere gehitu ahal zitzaizkiola, era horretan propietate batzuk indartzeko edo deuseztatzeko. Nolanahi dela, ez berak ez beste inork ez zekien portaera horren zergatia; hortaz, entsegu eta errorearen metodoa erabili zuen, eta esperimentatzen hasi zen altzairuak fundituz eta osagai desberdinak gehituz, haien efektuak deskubritzeko asmoz. Egun batean aluminioarekin saiatzan zen, hurrengoan nikelarekin.

Brearley ez zuen aurrera egiten. Lagin batek nahi adinako gogortasunik ez zeukanean, zientzialariak baztertu egiten zuen. Baina hilabete bat pasatu eta gutxira iritsi zen aurkipen miragarria, laborategia zeharkatzen zebilela lagin herdoilduen pila batean distira egiten zuen lagin bat ikusi zuenean. Ezikusiarrena egin eta pubera joan ordez, herdoildu gabeko lagina pilatik atera eta aztertzen hasi zen, eta haren esanahiaz konturatu zen: eskuan zeukana altzairu herdoilgaitza zen, inoiz munduan ezagutu den lehena.

Ezustean, aleazioaren bi osagai, karbonoa eta kromoa, proportzio zehatzean konbinatuz, kristal-egitura oso berezi bat sortu zuen, zeinean kromo-eta karbono-atomoak burdina-kristalen barruan txertatzen baitziren. Aurretik egindako entseguan kromoaren gehiketak altzairuzko lagina gehiago gogortu ez zuenez zientzialariak lagina baztertu egin zuen arren, halere fenomeno askoz interesgarriago bat sorrarazi zuen. Normalean, airearen edo uraren eraginpean dagoenean, gainazaleko burdinak erreakzionatu eta burdina(III)

oxidoa eratzten du, zeina mineral gorrixka bat baita, hizkera arruntean ugerra edo herdoila deritzona. Herdoila askatu eta erortzen denean, gainazala prest dago altzairuzko beste geruza bat herdoiltzeko, zeinaren ondoko etengabeko herdoilketak ekaiaren korrosioa sortzen baitu, horixe izanik material honetaz egindako egitura guztiei atxikitako arazo larria; hain zuzen ere, horregatik nahitaezkoa izaten da zubiak eta autoak pintatu beharra. Nolanahi dela, dena aldatzen da kromoaren presentziarekin. Edukazio oneko gonbidatuen modura, kromoak burdina-atomo ostalariak baino lehenago erreakzionatzen du oxigenoarekin, kromo oxidoa eratuz. Kromo oxidoa mineral garden eta gogorra da, ederki itsasten dena altzairuan. Bestela esanda, ez da bertatik askatzen eta zuk ez dakizu bertan dagoenik ere. Halere, kromo oxidoak kimikoki babeslea den geruza ikusezin bat eratzten du, eta babestu egiten du altzairuaren gainazal osoa. Are gehiago, gaur egun badakigu geruza babesleak birsortzeko gaitasuna duela; hain zuzen, altzairu herdoilgaitza marratzen denean geruza babeslea apurtu egiten den arren, berrosatu egiten da berez.

Brearley altzairu herdoilgaitzeko lehenengo aiztoak fabrikatzen saiatu zen, baina laster korapilatu zitzaion arazoa. Lorturiko metalak ez zeukan nahi adina gogortasunik aizto zorrotzak ekoizteko, eta laster hasi ziren «ebakitzen ez duten aiztoak» aipatzen zituzten esamesak. Gogortasun falta hori izan zen Brearley aleazio hura pistolen kanoietarako ez erabiltzera eraman zuen arrazoia. Baina, mendean zehar geroago ikusiko zen bezala, gogortasun falta hark ahalbidetu egiten zuen altzairu harekin bestelako gauzak egitea, eta horixe izan zen altzairuari forma konplexuak emateko gaitasuna, zeina azkenean baliagarri gertatu baitzen eskultura britainiar garrantzitsuenak sortzeko, preseski, etxe gehienetan sukaldeetan daudenak: sukaldeko altzairuzko harraskak.

Altzairu herdoilgaitzeko harraskak menderakaitzak eta distiratsuak dira, eta bertara botatzen den edozeri eusten diote. Mota guztietako hondakinak—hala nola koipea, lixiba eta azidoa— bat-batean eta egokiro eliminatu nahi ditugun mundu batean, material hau benetan etorri da gure bitartez. Kanporatu egin ditu zeramikazko harraskak sukaldeetatik, eta agian noizbait zeramikako komun-ontziak ere ordeztuko ditu bainugeletan, baina oraingoz ez dugu konfiantza nahikorik, geure eginbehar intimoetan metal berri hori erabiltzeko.

Altzairu herdoilgaitza da gure aro modernoko sinbolorik onena. Garbia eta distiratsua da, ia suntsiezina dirudi, baina azken batez oso demokratikoa da: gaur egun, bere sorreratik honaino mende bat ere pasatu ez denean, ez dago beste metalik hori bezain familiarra zaigunik; izan ere, ia egunero daramagu ahora. Zeren eta, azkenean, Brearleyk mahai-tresnak fabrikatzea lortu baitzuen berak asmatutako materialarekin, eta kromo oxidozko geruza gardenaren babesari esker, koilarea erabat zaporegabea da, mihia ez baita iristen metala ukitzera eta, ondorioz, listuak ezin baitu berarekin erreakzionatu; horrek esan nahi du gure belaunaldia dela mahai-tresnetan inolako zaporerik sentitu ez duen lehenengoetarikoa. Sarritan arkitekturan eta artean ere erabiltzen da altzairu herdoilgaitza, hain zuzen, beraren gainazal distiratsuak korrosiotik babesten duelako. Chicagon mirets daitekeen Anish Kapoor-en *Cloud Gate* eskultura da horren adibide ona. Lan horrek ondo islatzen du gure modernitate-sentimendua, gu axolagabeak izatea eta baita dolu, zikinkeria eta egonezinaren aurka garaileak izatea ere. Gu-geu menderakaitzak izatea.

Altzairu herdoilgaitza mahai-tresnak fabrikatzeko bezain gogorra egitean, metalurgialariek ebatzi egin zuten, jakin gabe, bizar-orrien oxidazioaren problema: inoizko sorbatzik zorrotzenak sortu zituzten, eta bide batez, hainbat aurpegi eta gorputzen itxura aldarazi. Ustekabean, bizar-mozketaren etxekotzeak nahigabeko efektu bat ere izan zuen, aukera eman baitzien gaizkileei arma oso preziatu bat eskuratzeko: labana merke, iraunkor eta bereziki zorrotzak, gai direnak larru, artile eta kotoizko soinekoak zeharkatzeko, baita biktimaren larruazala ere, ni-neuk ondo dakidan bezala...

Horretaz guztiaz nenbilen pentsatzen Brianekin hitz egiten ari nintzen bitartean, berak altzairu herdoilgaitzezko bizar-orriak zorrotzeko asmatuta omen zeukan prozesu berriari buruz. Altzairu herdoilgaitza, urari eta aireari erresistentea zaien material gogor hori, denbora pasatu ahala hobetuz joan denez, azken mila urteotan ia beti entsegu eta errearen metodoaz, ez zen ezinezkoa formazio zientifikorik gabeko pertsona batek kasualitatez prozedura egokia aurkitu ahal izatea, erabilitako orriak birzorrotzeko. Materialen mundu mikroskopikoa hain da zabal eta konplexua, ezen beraren parte txiki bat ezagutzen baitugu soilik.

Arratsaldea bukatzera zihoala, pubetik irten ginenean, eskua estutu eta harremanetan jarraituko genuela esan zidan. Dublingo kale hartatik sodiozko kale-argien argipean balantzaka zihoala, bat-batean bira egin eta hauxe oihukatu zuen: «Goretsia izan bedi altzairuaren jainkoa!». Pentsatu nuen Hefesto-ri buruz ari zela, antzina bera baitzen metalen, suaren eta sumendien jainko greziarra, sutegian lanean zebilen forjari modura irudikatzen zutena. Fisikoki desgaitua, makurturik zebilena, ziurrenik ere artsenikosiaz gaixoturik zegoena, eritasun arrunta baitzen hori brontzea galdatzen zutenen artean, artseniko-maila altuko giroaren eraginez sortua, eta herrentasuna eta larruazaleko minbizia sortzen zituenena. Atzerantz begiratu eta Brian kaletik zabuka urruntzen ikusi nuen —bere makilaz lagundurik eta aurpegia gorri—, eta neure buruari galdetu nion nor ote zen benetan.