

Garena egiten gaituena, egiten duguna idazteko

Gizakiok betidanik izan dugu hurrengo belaunaldiei ezagutza transmititzeko grina berezi bat, eta horrek informazioa gordetzeko zenbait modu deskubritu edota garatzera bultzatu gaitu. Gaurdaino dakigunaren arabera, horren lehen ebidentziak duela 40.000 urte inguruko labar-artean ditugu. Aurrerago, hizkuntzen sorrerarekin batera, lehen idatzizko testuak sortu genituen. Halaber, paperaren aurkikuntzak eta inprentaren garapenak ekarri zuten liburuak informazio-iturri gisa nagusitzea urte luzez.

Paradigma-aldaketa ordea, XX. mende erdialdean gertatu zen, elektronika digitalaren sorrerarekin batera. Izan ere, transistorearen eta mikrotxiparen garapenei esker, besteak beste, datuen biltegitratze digitala jaio zen.

Zer da datuen biltegitratze digitala?

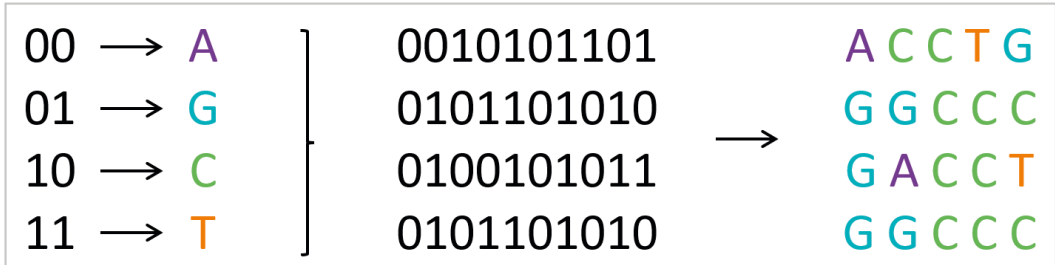
Datuen biltegitratze digitala informazio digitala baliabide elektronikoen bidez biltegitratzean datza. Orobat, informazio digitala sistema bitarraren bidez (Oak eta 1ak baliatuz) adierazten den informazioa da. 0 eta 1 balioek egoerak adierazten dituzte. Esaterako, 0a "itzalita" egoerari dagokio, eta 1a "piztuta" egoerari; edo 0a tentsio elektriko konkretu bati, eta 1a beste tentsio bati. Nolanahi ere, bi egoera errepresentatzen dituzte. Sistema bitarrean, egoera-unitate horietako bakoitzari bit esaten zaio, eta 8 bit, bata bestearen segidan idatzita, byte bat eraikitzen da. Hortik abiatuta, eta milaka byte-ren bidez, testua, irudiak, bideoak, audioak eta bestelako informazio digitala eraikitzen da.

Datuen biltegitratze digitalari esker, informazio-kantitate handiak espazio fisiko txikian gordetzeaz gain, behin baino gehiagotan irakur eta edita daitezke [1]. Zinta magnetikoa, disketea, CDa, DVDa eta USBa dira azken hamarkadetan informazio digitala biltegitratzeko nagusitu diren sistema esanguratsuenetako batzuk. Medio fisiko horiek, ordea, biziraupen mugatua izateaz gain, ez dute informazioa partekatzea errazten. Horren harira, gaur egun datuak biltegitratzeko nagusitzen den sistema honako hau dugu: hodeia. Erosoa, azkarra, irisgarria, segurua, mugagabea eta jasangarria, ezta?

Spoiler: hodeia ez da existitzen

Bada, ez. Google, Amazon Web Services (AWS), Microsoft eta horrelako beste enpresa batzuek kudeatzen dituzten datu-zentroek osatzen dute "hodeia". Hortaz, azpiegitura horien konplexutasuna laburbiltzeko erabiltzen den metafora bat baino ez da hodeia [2].

Une batez, begiratu diezaiogun 2022. urtean egun bakoitzeko sortu dugun datu-kantitateari: 8,5 milioi bilaketa Googlen, 720.000 ordu YouTube, 93 milioi argazki Instagramen, 867 milioi txio Twitterren eta 333 mila milioi mezu elektroniko, besteak beste. Hortaz, 94 zettabyte inguru sortu eta kontsumitu ditugu azken urtean (1 zettabyte = 10^{21} byte). Alegia, bit bakoitza euro bateko txanpona balitz eta 1 zettabyte osatu arteko txanponak pilatuko bagenitu, 1.970 argi-urteko distantzia osatuko genuke; Alpha Centauri eguzki-sistematik gertuen dagoen izar-sistemara 225 joan-etorri egiteko bestekoa.



1. irudia. Sistema bitarretik DNara datuak kodetzeko prozesua. Irudia: Judith Zubia Aranburu.

Hori horrela izanik, datu-zentro horiek 10.000 m² inguruko azaleretan, zutabe eta lerro ugarietan, antolatzen diren zerbitzarien biltegi erraldoiak izatera iritsi dira. Zerbitzari horiek, jakina, hotz-sistema bat behar dute gainberotzeak saihesteko. Hori gutxi ez eta, "hodeia" une oro erabilgarri egon dadin eta sare elektrikoan gerta daitezkeen akatsen eragina hauteman ez dadin, gune horietan dieselez elikatzen diren sorgailuak egoten dira. Beraz, horrelako gune batek, urte batean, 50.000 etxebizitzek erabiltzen duten energiaren baliokidea kontsumitzen du. Datuak digitalki biltegitratzeko joera hazkorra ikusita, mende honen amaierarako, ekoizpen digital horri eusteko beharko den energia planeta osoko egungo energia-kontsumoa gainditzera iritsiko litzateke [3].

Alternatibarik?

Gauza bat garbi dago: hau ez da bidea. Norabidez aldatu behar dugu. Alternatiba bat aurkitu, edo batzuk. Ez da erreza, ez, baina galde diezaigun biziraupenaz guk baino gehiago dakien norbaiti, hots, guk baino esperientzia handiagoa duen norbaiti. Galde diezaigun naturari.

Nola lortu du naturak belaunaldiz belaunaldi gizakia gizaki edota zuhaitza zuhaitz egiten duena oroitzea? Nola aldatu gaitu eta du gure ingurua naturak, garai eta leku konkretu bakoitzean, ezaugarri

bereizgarriak izan ditzagun? Funtsean, molekula bakar batekin: DNA (azido desoxirribonukleikoa) [4].

DNAz ari garenean, bizia bera datorkigu burura, baina ez informazioa edota ordenagailuak. Bada, DNA bera organismo batean informazioa gorde eta transmititzeko 4 letrako kodea da. Molekula hori lau nukleotidoz (adenina (A), timina (T), guanina (G) eta zitosina (C)) osatutako kate-bikoitzeko helizea da.

Informazio digitala DNA bihurtzeko, lehenik eta behin, datuak kodetu behar dira (ikusi 1. irudia). Hori egiteko zenbait modu daude, algoritmo bat idazteko zenbait lengoia dauden antzera. Aukera bat honako hau egitea da: sistema bitarreko 00 adierazteko, adenina erabiltzea, 01 guanina, 10 zitosina eta 11 timina [5]. Prozesu horren bidez, kate bakarreko DNA-sekuentzia eraiki daiteke % 99ko eraginkortasunarekin. Zergatik ez % 100eko eraginkortasunarekin? Bada, DNAREN sintesi-prozesuan badirelako saihestu ezin daitezkeen akats batzuk, eta, beraz, nukleotido bakoitzak gehienez gorde dezakeen informazioa, 2 bit-ekoa izan beharrean, 1,8 bit-ekoa da. Aipatzekoa da, akastuna den % 1 horrek arazoak eragin ditzakeela datuak biltegitratzean. Horregatik, kate bakarra sortu beharrean, kopia ugari sortzen dira, informazioa bere osotasunean ondo gordetzen dela bermatzeko.

Jarraian, sintetizatutako DNA hori biltegitratu behar da. Zenbait biltegitratze-sistema garatu diren arren, esan liteke bi estrategia daudela. Aukera bat DNA izoztu eta bere horretan gordetzea litzateke. Molekula hori egonkor mantendu daiteke milioika urtez baldintza horietan. Beste aukera bat DNA kapsulatu eta beste material batean txertatzea da. Estrategia hori “DNA-of-Things” edo “Gauzen DNA” deritzon ideian oinarritzen da, eta, funtsean, informazioa DNARA kodetu eta eguneroko objektuetan gordetzean datza. Horren adibide bat 2019an Suitza eta Israelgo ikerlari batzuek egindako lana da [6]. Haiek fitxategi digital bat DNARA kodetu eta beirazko partikula batzuetan kapsulatu zuten. Ondoren, partikula horiek polikaprolaktone (PCL) polimeroarekin nahastu eta, 3Dko inpresioaren bidez, objektu batean txertatu zituzten. Hortaz, inprimatutako objektuak berak fitxategi horretan biltegitratutako informazioa bere baitan izatea lortu zuten. Horrez gain, inprimatutako objektu horren edozein ataletatik DNA erauzi, eta PCR (Polymerase Chain Reaction) bidez anplifikatu zuten, eta, hala, frogatu zuten fitxategi hori objektu berrietan gorde zitekeela (ikusi 2. irudia).

Errealitatea edo zientzia-fikzioa?

Datuak gordetzeko DNA erabiltzea arrotza egiten bazaigu ere, ideia honek gero eta gutxiago du zientzia-fikziotik. Izan ere, gizakiok mende

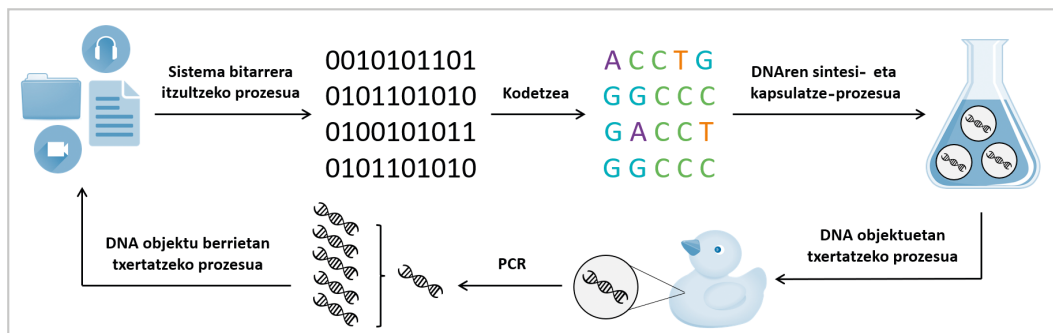
honetarako ditugun erronkekin oso ondo lerrotatzen den estrategia da.

Informazioa DNA bidez biltegitratzea gaur egun darabilzkigun sistemak baino energetikoki eraginkorragoa eta jasangarriagoa da (ikusi 3. irudia), ondo kapsulatutako DNAk mendeak iraun baititzake giro-tenperaturan. Gainera, ez du mantentze-lanik behar, eta horrela gordetako fitxategiak erraz kopia eta erreplika daitezke.

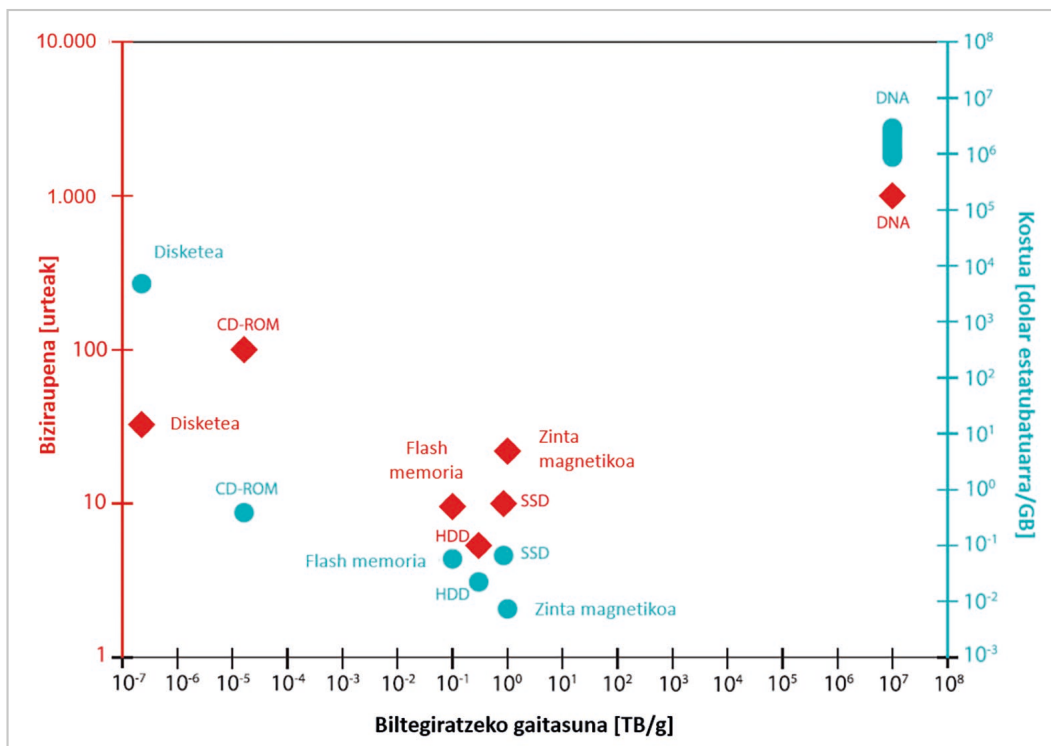
Hori gutxi ez eta biltegitratze-sistema honek dentsitate handia du, DNA bidez gordetzen den informazioak oso bolumen txikia okupatzen baitu. Izan ere, DNA-gramo bakar batean, 215 petabyte sar daitezke ($1 \text{ petabyte} = 1 \text{ E} + 15 \text{ byte}$) [8]. Aurreikuspenen arabera, mundu mailan 169 zetta-byte-ko informazioa sortuko dugu 2025. urterako. DNA bidez biltegitratuz gero, kikara bat baino ez luke beteko.

Hala ere, esan beharra dago gaur egun oraindik DNA bidez datuak biltegitratzea garestia dela, eta gutxienez pare bat hamarkada pasatu beharko direla DNAREN sintesi eta erauzketarako sistemen prezioak jaitsi eta modu orokortu batean erabiltzen hasi arte [9].

Horrez gain, biltegitratutako fitxategiak abiadura egokian berreskuratzeak erronka bat izaten



2. irudia. DNA bidez informazio digitala biltegitratzeko prozesua. Irudia: Judith Zubia Aranburu.



3. irudia. Zenbait biltegitratze-sistemaren biziraupena, gaitasuna eta kostua. Grafikoa: Meiser *et al.*-etik [7] egokitua.

jarraitzen du. Izan ere, DNA gordetzeko erabilitako kapsula bakoitzak bertako edukari dagokion DNA-kode bat du etiketa gisa. Hortaz, fitxategi konkretu bat hautatu eta ateratzeko, gainontzekoak bere horretan utziz, DNA-etiketa horri dagokion abiarazlea gehitu behar zaio. Gaur egungo teknologiarekin, prozesu hori oso luzea da. Baliteke, hasiera batean behintzat, DNA bidez datuak biltegitratzea "biltegitratze hotza" deritzona egiteko baino ez erabiltzea. Hau da, datu ez-aktiboak edo oso gutxitan erabiltzen direnak gordetzeko soilik erabiltzea [10].

Begirada bat etorkizunari

Eta orain imajinatu. Imajinatu honelako etorkizun bat. Imajinatu betaurreko berri batzuk erosi eta haien graduazioari, materialari eta fabrikazio-prozesuari buruzko informazio guztia betaurrekoetan bertan egotea. Imajinatu erosketak egitera joan eta janari bakoitzaren prezioa produktuak berak izatea, barra-koderik gabe. DNA biodegradagarria da;

beraz, barrura. Imajinatu garena egiten gaituen hori egiten duguna idazteko erabiltzea.

Baina imajinatu, baita ere, zer suposa lezakeen horrek segurtasun eta datuen babeserako. Zein ondorio ekar litzake teknologia hori zuzen ez erabiltzeak? Zer egitera irits gaitetzke? Zein da zientzialari eta ingeniarien ardura teknologia horren garapenean? Paradigma-aldaketa suposatu duten aurrerapen teknologiko eta zientifiko guztiek bezala, honek ere dilema etikoak sortu ez ezik, beste hainbat gai ere zalantzan jarriko ditu.

Datorrenean datorrela eta datorren bezala datorrela, behintzat, ez gaitzala ustekabeen harra-patu. ●



SARCAN+

[Bibliografia, webgunean](#)