

# 1. Gaia

## Fisika eta Biologia: Eskalaren arazoa

Sarri, Biologia eta Medikuntzako lehenengo ikasturteko ikasleek galdetu egiten digute zein den euren karreretan zehar Fisikak duen garrantzia, gero ez dela erabiltzen eta. Zoritxarrez, arrazoiz beteta daude. Nire esperientziatik ateratako iritzia hau da: gure Unibertsitatean Fisikaren irakaskuntza, goian aipaturiko ikasleentzat ez dela egokia urrunetik ere. Fisika hau, gure ikasleek uler dezaten baino, euren kontra ematen dugula dirudi.

Dena dela, gu ez gara geratuko aztertzen ea zein izan beharko litzatekeen egiturarik egokiena, zein, irakaskuntzaren ikuspuntutik, metodologiarik onena, eta abar. Gure helburua, Fisikaren eta Biologiaren artean dauden harremanak labur-labur aipatzea izango da; eta hau egindakoan, eskala aldetik dauden honelako harremanak sakonago aztertuko ditugu (adibide gisa).

### 1.1 Fisika eta Biologia

Gure helburuaren lehenengo atala betetzeko, ikus ditzagun gain ginetik adibide batzu:

- a) **Animalien nerbio-sistema.** Hauxe da bizidunen 'sistema elektrikoa'. Dakigunez, bizidunak sentitzen duen edozein zentzazio, bere nerbio-sistemaz hedatzen da, seinale elektriko gisa, burmuin edo nerbio-zentroraino. Seinale elektriko hauek prozesu biofisiko bat dela medio sortzen dira (bioelektrizitatea), eta prozesuan zehar sail nagusienak **presio osmotikoak** eta **Nerns-en potentzialak** betetzen dituzte.
- b) **Hegaztien orientazioa.** Badakigu Lurak eremu magnetiko bat duela. Hegazia hegan ari denean, eremu magnetiko honen lerroak ebakitzen ari da, eta bere entzunbide bien artean, indukzio magnetikoa-gatik, potentzial-diferentzia bat sortzen da. Potentzial-diferentzian honen balioa oso txikia izan arren, hegaztiak detektatu egiten dute, eta bere ulerkuntzan edo interpretazioan datza norabideratzearen arazoa (**biomagnetismoa** eta **korrante induzituak**).
- c) **Odolaren zirkulazioa.** Argi dago odolaren zirkulazioa aztertu nahi badugu, **hidrodinamikan** oinarritu beharko dugula. Odola likido erreal bat da, eta bere ezaugarriak (biskositatea, dentsitatea) tenperatura bakoitzean, erraz ezagutu daitezke. Bestalde, arteriek eta zainek hodi elastikoek bezala jokatzen dute.  
  
Odolak, bihotzetik irteterakoan duen presio estatikoa biskositateagatik galdu egiten du hodi hauetan zehar.
- d) **Bizidunen egitura eta tamaina.** Irudika ezazue txakur arrunt bat. Posible ote da txakur honen tamaina handitzea bere altuera (adibidez) elefante batena izan arte, beste neurri guztiak faktore berberaz biderkatuz? Ez orain, ez Historiurrean, ez da aurkitu halako animaliairen arrastorik ere. Horretan oinarriturik, ez dela posible esango guke. Hau berau zientifikoki froga daiteke **eredu mekanikoen teoria** erabiliz (hau da, teoria fisiko orokor bat erabiliz).

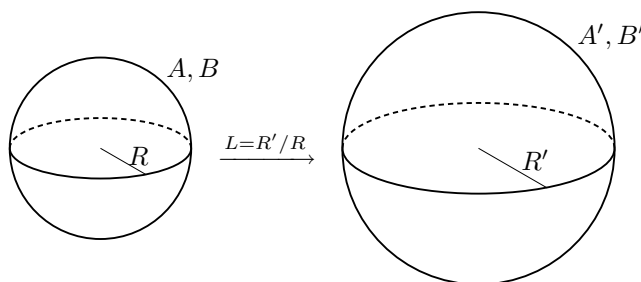
## 1.2 Eskala-faktorea. Indar erlatiboa.

Aurreko atalean aipaturiko eredu mekanikoen teoriak, gure helburuaren bigarren zatia aztertzea eramango gaitu.

Teoria hau, nagusiki, egituren neurrien artean dauden erlazioetan datza. Ez da gure asmoa teoria honetan sakontza (gainditu egingo baituke artikulua honen helburua), bere adibide praktikoak hartzea baizik. Hau esanda, gure ikerketa hasteko prest gaude.

Azter dezagun analitikoki zein den egitura baten tamaina eta bere funtzioaren (edo potentziaren) artean dagoen erlazioa. Ikusiko dugun bezala, hau neurrien funtzioa da, eta funtzio hau lortzea (edo ezagutzea) izango da gure ondorengo helburua.

Kalkula dezagun, lehendabizi, bi irudi antzekoren azalerak eta bolumenen erlazioak, euren bi luzera homologoren funtzioan.



1.1. IRUDIA.

Defini dezagun  $L$  **eskala-faktorea** irudi bien luzera homologoren ( $d$  eta  $d'$  direlako) erlaziotzat:

$$L = d'/d$$

Erraz froga daitekeenez, hau honela bada, irudiko azalaren eta bolumenen artean ondorengo erlazioak beteko dira:

$$\frac{A'}{A} = L^2 \quad \frac{B'}{B} = L^3 \quad \left\{ \begin{array}{l} A, A' \text{ azalerak} \\ B, B' \text{ bolumenak} \end{array} \right.$$

eta hau egia izango da irudiak erregularrak zein irregularrak badira ere.

Erlazio geometriko hauen garrantzia hau da: Gorputzen propietate fisiko batzu bolumenaren funtzioak dira, eta beste batzu, azalerarenak (adibidez, gorputz baten pisua, bolumenaren funtzioa da, eta hezur baten erresistentzia, bere zeharkako azalerarena), eta honelako propietateen arteko erlazioa gorputzen neurrien funtzioa izango da azkenez, noski.

Idea hauek argi ulertzeko, aplika diezazkiogun adibide bati.

Demagun bi inurri antzeko dauzkagula, biak materia berdinekoak baina  $d$  cm-ko luzerakoa txikiena (IT), eta  $d'$  cm-koa handiena (IH).

Lehen definitu dugun bezala, inurru txikitik handira dagoen eskala-faktorea hau da:

$$L = d'/d$$

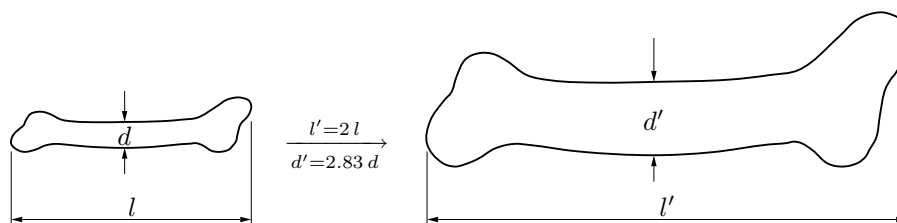
Lehentxoago esandakoa erabiliz:

$$\frac{\text{IH-ren Pisua}}{\text{IT-ren Pisua}} = \frac{k \cdot \text{IH-ren Bolumena}}{k \cdot \text{IT-ren Bolumena}} = L^3$$

$$\text{IH-ren Pisua} = L^3 \cdot \text{IT-ren Pisua}$$

non  $k$  konstante berbera den (pisu espezifikoa, hain zuzen).

Bestalde, inurrien (edo beste edozein organismoren) indarra, bere giharreen (eta hezurren) zeharkako sekzioen azaleraren funtzioa da (imajina zaitezte, adibidez, nolakoak diren harrijasotzaile baten hankak eta besoak).



1.2. IRUDIA. Bi aldiz luzeago den hezurrak, erresistentzia berbera edukitzeko, proportzionalki dagokiona baino zabala goa izan behar du:  $d' = 2.83 d > 2 d$

Hau, analitikoki, gure inurrien kasura aplikatuz, honela idatz dezakegu:

$$\text{IH-ren Indarra} = L^2 \cdot \text{IT-ren Indarra}$$

Gauza berbera esateko:

$$\text{IH-k jaso dezakeen pisua} = L^2 \cdot \text{IT-k jaso dezakeen pisua}$$

Baina, orokorrean, magnitudeen balio absolutuek ez digute behar den moduan argitzen gure ikerketetan. Horregatik, hobe izango da balio horien bidez beste balio erlatibo batzu lortzea. Adibidez, inurriaren indarra bere pisua baino zenbat ildiz handiagoa (edo txikiagoa) den, esaterako, lor dezakegu. Hau da:

$$\begin{aligned} \text{IH-ren Indar Erlatiboa} &= \frac{\text{IH-k jaso dezakeen pisua}}{\text{IH-ren pisua}} = \frac{L^2 \cdot \text{IT-k jaso dezakeen pisua}}{L^3 \cdot \text{IT-ren pisua}} \\ &= \frac{1}{L} \cdot \text{IT-ren Indar Erlatiboa} \end{aligned}$$

$L > 1$  dela kontuan hartuz, inurri handia (IH), txikia (IT) baino *ahulagoa* dela ondorioztatzen da.

[Oharra: Zer esanik ez, eta horrek artikuluko osorako balioko du, gure ‘animaliak’ edo ‘bizidun-egiturak’ elkarren antzekoak direnez, batetik abiatuz bestearen neurri linealak aurkitzeko,  $L$  eskala-faktoreaz biderkatuz lortuko ditugula.]

Beste batzutan, inurri gizona baino askoz indartsuagoa dela entzuten da, inurriak bere gorputzarena baino hiru bider handiagoa den pisua jaso dezakeelako, eta gizonak, gutxi gorabehera, bere gorputzarena bakarrik. Hau da, inurriaren indar erlatiboa gizonarena baino hiru aldiz handiagoa izango litzateke. Baina, zer gertatuko litzaioke inurriari bere luzera (altuera, tente jarriko balitz) gizonarenarekin parekatuko bagenu?

Har ditzagun datu batzu:

$$\text{Inurriaren luzera: } d_{\text{in}} \simeq 1 \text{ cm}$$

$$\text{Gizonaren altuera: } d_{\text{giz}} \simeq 170 \text{ cm} = d'_{\text{in}}$$

Beraz, eskala-faktorea:

$$L = (d'/d)_{\text{in}} = 170$$

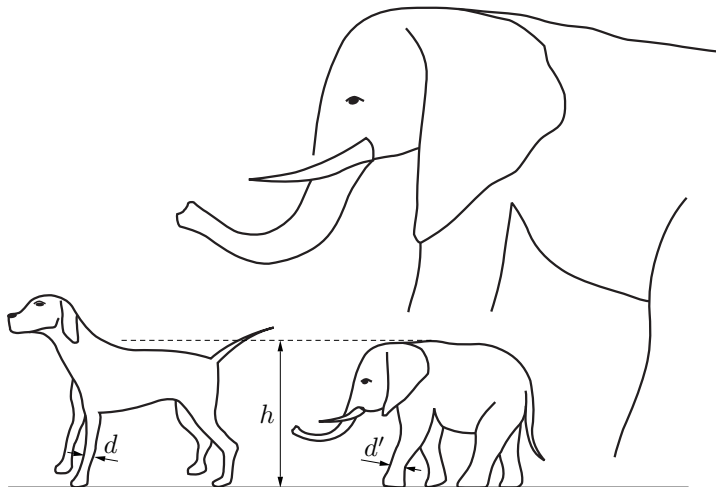
izango da, eta gizon baten tamainako inurriaren indar erlatiboa, lehen ikusi dugun bezala, hauxe izango da:

$$\text{IH-ren Indar Erlatiboa} = \frac{1}{L} \cdot \text{IT-ren Indar Erlatiboa} = \frac{1}{170} \cdot 3 = 0.018$$

Hau da, inurriak gure tamaina hartuko balu (bere luzera eta gure altuera berdina eginez, eta bere eitea mantenduz), bere indar erlatiboa gurea baino askoz txikiagoa izango litzateke (57 aldiz txikiagoa), eta biologikoki ez litzateke bideragarria izango, ez bait luke edukiko bere hankak jasotzeko indarrik ere.

Hemen lortutako emaitzak ondorio batera eramaten gaitu: Animalia handiek, bideragarriak izateko, animalia txikiek dituzten egitura desberdinak eduki behar dituzte (ez da proportzio linealik egongo euren neurrien artean). Orainxe ikusi dugun bezala, animalia bat zenbat eta handiagoa izan, hainbat eta txikiagoa izango da

bere indar erlatiboa. Horregatik, elefante baten hankak oso lodiak izango dira bere tamainako txakur batekin konparatuz; bestela, ez luke indarrik edukiko bere pisuari eusteko ere. Lehengoa errepikatuz: Animalia handiak bideragarriak izan daitezen, bere giharre eta hezurrek animalia txikiak baino handiagoak izan behar dute proportzionalki.



1.3. IRUDIA. Proportzionalki kontsideratuz, txakurraren eta elefantearen adibidean altuerarekiko erlazioan, elefantearen hanken diametroa txakurrarena baino askoz handiagoa da. Gure kasuan, 3 m eta 4 000 kg dituen elefante bat, alde batetik, eta bestetik, 0.75 m eta 62.5 kg dituen trakur bat hartu ditugu (zeren, altuera berbera edukiz, euren pisuak berdinak izango bait lirateke). Animalia bien hezurren erresistentzia berbera kontsideratuz, eskala-faktorea  $L = 3/0.75 = 4$  izanik, altuera berberarekin animalia bien hanken diametroa  $d' = d$  izan beharrean, beste hau irtengo litzaiguke:  $d' > 2d$ .

Azter dezagun orain eskala-faktorea erabiltzen duen beste adibide bat: **zelulen zatiketa**. Zergatik zatitzen dira zelulak, tamaina edo neurri batera heltzen direnean?

Problema hau errazago ikusteko, bi zelula esferiko kontsideratuko ditugu,  $R$  erradioduna gazteena, eta  $R'$  erradioduna zaharrena ( $R' > R$ ). Beraz, eskala faktorea haxe izango da:

$$L = R'/R > 1$$

Geometrikoki lortzen denez, zaharraren eta gaztearen bolumenen artean erlazio hau betetzen da:

$$B' = L^3 B$$

eta zelula zaharrak gazteak baino  $L^3$  bider materia metaboliko gehiago edukiz, bere bizia mantentzeko, gazteak absorbatzen duen oxigenoa baino  $L^3$  bider gehiago beharko du:

$$\left( \begin{array}{c} \text{Zelula zaharrak minutuko} \\ \text{behar duen O}_2 \text{ kantitatea} \end{array} \right) = L^3 \cdot \left( \begin{array}{c} \text{Zelula gazteak minutuko} \\ \text{behar duen O}_2 \text{ kantitatea} \end{array} \right)$$

Oxigeno hau euren gainazalek lortzen dute zelulek, eta geometrikoki ikusten denez, zelula zaharrak, gehienez, gazteak lortzen duena baino  $L^2$  bider gehiago lortuko luke:

$$\left( \begin{array}{c} \text{Zelula zaharrak minutuko} \\ \text{lor dezakeen O}_2 \text{ kantitatea} \end{array} \right) = L^2 \cdot \left( \begin{array}{c} \text{Zelula gazteak minutuko} \\ \text{lor deakeen O}_2 \text{ kantitatea} \end{array} \right)$$

Defini dezagun faktore berri bat: **bideragarritasun-faktorea**. Faktore honek bizidunen egiturek bizia mantentzeko duten ahalbidea edo posibilitatea neurtzen du. Gure kasuan, oxigenoaren balantzeari begiratuz, honela idatz dezakegu:

$$\text{Bideragarritasun-faktorea (BF)} = \frac{\text{Lor dezakeen O}_2 \text{ kantitaeta/min}}{\text{Behar duen O}_2 \text{ kantitaeta/min}}$$

Argi dagoenez,  $BF \geq 1$  izan beharko da zelula bideragarria izan dadin.

Zelula gazteen artean, hau erraz betetzen da, baina zahartuz doazen einan, handitu egiten dira eta, beraz, BF delakoa gutxitu egiten da. Azkenean, bideragarritasun-faktorea 1 baino txikiagoa egiten denean, bi aukera

azalduko zaizkio zelulari: ito eta hil, ala zatitu. Zatitze-prozesuan, BF txikia duen zelula handi (eta zahar) batetik, beste bi zelula sortuko dira guztira materia metaboliko berberarekin baina BF handiagoarekin.

Froga dezagun hau analitikoki: Demagun  $R'$  erradiodun zelula zahar bat, bere bolumena  $B' = \frac{4}{3}\pi R'^3$  izanik. zelula honetatik sortuko diren bi zelula-kumeek,  $B = B'/2$  bolumena edukiko dute. Zelula-kumeen erradioa  $R$  bada, erradio bien artean erlazio hau beteko da:

$$\frac{2}{3}\pi R'^3 = \frac{4}{3}\pi R^3 \quad \rightarrow \quad R = \sqrt[3]{0.5} R' = 0.79 R'$$

eta zelula-kumeen azalera osoa haxe izango da:

$$S = 2(4\pi R^2) = 1.26(4\pi R'^2) = 1.26 S'$$

Hau da, zatiketa bakoitzean zelula baten azalera (zelula-ama) % 26an gehitzen da (eta, beraz, oxigenoaren lortze-ahalmena), materia metabolikoa mantenduz. Honek esan nahi bideragarritasun-faktorea neurri berean aldatuko dela (hau da, zelula-kumeen BF-a, zelula-amarena baino % 26 handiagoa izango dela).

### 1.3 Lana eta energia

Ikus dezagun orain lana eta energiaren teoremaren eta eskala-faktorearen artean dagoen erlazioa, antzeko animalien abiadurak aztertuz.

Bemagun  $v$  abiaduraz higitzen ari den animalia bat. Animalia higitzen doan bitartean, bere gorputzak ez du lanik egin behar haren abiadura mantentzeko (egia esan, lan pixka bat egin behar da airearen maruskadura gainditzeko). Baina animalia haren hanketan beste gauza desberdin bat gertatzen da.

Lurra ukitzen duen unean, animalia hanka, bat batean, geldirik geratzen da, bere gorputza aurrerantz  $v$  abiaduraz higituz doan bitartean. Hurrengo unean, hanka lurretik jasotzen duenean, giharre-multzo batek bultzatu egiten du hanka, gortputza harrapatu eta aurreratu arte. Gero, berriz, beste giharre-multzo batek balaztatu egiten du hanka, lurra ukitu eta bertan geldirik utzi arte (labur esanda, hau da egunero ibiltzen ari garenean betetzen dugun prozesua, behin eta berriz).

Lehenengo giharre-multzoak egindako lana, hanka pausagunetik  $v$  abiadurara (gorputzarenera) eramateko, lan-energiaren teorema aplikatuz, honela idatz dezakegu:

$$W = \frac{1}{2}m_i v^2 \quad [m_i = \text{hankaren masa}]$$

eta bigarren multzoak beste horrenbeste lan egingo du, baina negatiboa, hanka hori  $v$  abiaduratik gelditasunera itzultzeko.

Pausagunetik  $v$  abiadurara eramateko hanka gainean egindako lana,  $W = \frac{1}{2}m_i v^2$ , giharren uzkuradura baten bidez lortzen da. Giharrek egindako batezbesteko indarra  $F_m$  bada, eta  $d$  uzkurduraren luzera, lan-energiaren teorema aplikatuz haxe idatz dezakegu:

$$W = F_m d = \frac{1}{2}m_i v^2 \quad (1.1)$$

Hemendik:

$$v^2 = \frac{2F_m d}{m_i}$$

Konpara ditzagun orain bi animalia antzekoen abiadurak, eskala faktorea erabiliz. Har dezagun  $L = d'/d$  eskala-faktorea,  $d$  eta  $d'$  animalia txikiaren eta handiaren giharren uzkurduaren luzerak izanik. Animalia handiarentzat (1) ekuazio berridatziz, honela idatz daiteke bere abiadura:

$$v'^2 = \frac{2F'_m d'}{m'_i}$$

Baina lehen ikusi dugun bezala, eskala-faktorea kontuan hartuz:

$$F'_m = L^2 F_m \quad m'_i = L^3 m_i \quad d' = L d$$

Balio hauek ordezkatzuz:

$$v'^2 = \frac{2(L^2 F_m)(Ld)}{L^3 m_i} = \frac{2F_m d}{m_i} = v^2 \quad \rightarrow \quad v' = v$$

Hau da, animalia biek, handiak eta txikiak, abiadura berbera edukiko dute. Harrigarria!. Zehatz-zehazki, hau animalia antzekoen artean beteko litzateke bakarrik, baina gutxi gorabehera egia da zaldiaren eta untxiaren tamainaren arteko animalientzat.

(1) ekuazioaren adierazpen bat hau da: Animalia arin batek hankak oso meheak (pisu txikikoak izan daitezten) eta hanketako giharrek oso luzeak (uzkurduraren  $d$  luzera handia izan dadin) eduki behar ditu (adibidez, gazela, xarlangoa, etab.)

## 1.4 Energia eta potentzia

Energia eta potentzia agertzen diren adibide batzu aztertu baino lehenago, bertan sarri agertzen den magnitude bat definituko dugu: **abiadura metabolikoa**. Definizioz, hau da: Animalia bizidunen energia-kontsumoaren neurria. Segundoko neurtua izateagatik, watt unitateetan ematen da.

Argiro, abiadura metabolikoa bizidunen tamainaren eta aktibitatearen funtzio izango da. Egoera normalduetan, *baldintza basalak* deitzen direnetan (hau da, animalia esna baina guztiz geldirik dagoenean), abiadura metabolikoa (AM) gorputzaren azalarekiko proportzionala dela aurkitzen da. Horregatik, komenigarria izaten da beste magnitude erabilkorrago bat definitzea: *thabiadura metaboliko basala* (AMB), honelaxe:

$$AMB = \frac{\text{Abiadura metabolikoa esandako egoera basalean (watt)}}{\text{Gorputzaren azalera (m}^2\text{)}}$$

Magnitude hau, ikusten denez, watt/m<sup>2</sup> unitateetan neurtzen da.

AM-ren eta animalien gorputzen azaleraren artean dagoen proportzionaltasunak, eskalako legeetara eramaten gaitu. Erraz froga daitekeenez, bi animalia antzekoren abiadura metabolikoak (AM) honela idatz ditzakegu:

$$(AM)' = L^2(AM) \quad [L = \text{eskala-faktorea}]$$

Hau da, animalia handiak, txikiak baino  $L^2$  bider arinago xahutuko du bere energia ( $L > 1$  izanik). Beste era batean esanda, animalia handiaren gorengo potentzia, txikiagoarena baino  $L^2$  bider handiagoa izango da, eta hau harrigarria iruditzen zaigu, zeren, ikusi genuen bezala, lana  $L^3$  faktoreaz aldatzen bada, nondik nora potentzia  $L^2$  faktoreaz bakarrik?

Ebatz dezagun itxurazko paradoxa hau: Esan dezagun, lehenik, ezen lana  $L^3$  faktoreaz aldatuz joan,  $v$  abiadura ez dela  $L$  eskala-faktorearekin aldatzen. Beraz, gorputzak  $v$  abiaduraz  $d$  luzera bat higitzeko,  $t = d/v$  denbora-tarte bat hartuko luke. Animalia honen antzeko baten datuak ordezkatzuz:

$$t' = d'/v' = Ld/v = Lt \quad \rightarrow \quad t'/t = L$$

eta denbora-tartea  $L$  faktoreaz aldatzen da.

Hemendik, potentzia = lana/denbora izanik:

$$\frac{P'}{P} = \frac{W'/t'}{W/t} = \frac{W'/W}{t'/t} = \frac{L^3}{L} = L^2 \quad \rightarrow \quad P' = L^2 P$$

Beste arrazoi desberdin bat ere eman genezake: Gorputzak hartzen duen energia osoa, askenean bero bihurtzen da, eta bero hau gorputzetik atera beharko dugu, bestela, gorputzaren tenperatura etengabeki igo egingo bait litzateke. Bero hau, gehienez, gorputzaren gainazaletik egozten da. Jakina da, bestalde, bi irudi antzekoren azalerak  $L^2$  faktoreaz aldatzen direla, eta horregatik gorputzak egotz dezakeen bero-kantitate handiena  $L^2$ -rekin aldatuko dela. Abiadura metaboliko handiena bero-galeraren abiadura baino ezin izan daitekeenez, potentzia ere  $L^2$ -rekin aldatuko da.

Ikus ditzagun orain ondorio berezi eta interesgarri batzu:

- A) **Biotz-taupaden maiztasuna.** Animaliek metabolismorako behar duten oxigenoa, odol bitartez datorkie. Honela, abiadura metabolikoa bihotzak segundo batean bultzatutako odolaren funtzioa (edo proportzionala) izango da. Hau da: Abiadura metabolikoa (eta, beraz, potentzia) biotzaren bolumenarekiko ( $B$ ) eta bere maiztasunarekiko ( $r$ ) proportzionala izango da:

$$P \propto Br \quad \rightarrow \quad r \propto P/B$$

Baina potentzia  $L^2$  faktoreaz aldatuak doanez, eta bolumena  $L^3$  delakoarekin, hauxe idatz dezakegu bi animalia antzekoei aplikatuz:

$$\frac{r'}{r} = \frac{P'/B'}{P/B} = \frac{P'/P}{B'/B} = \frac{L^2}{L^3} = \frac{1}{L} \quad \rightarrow \quad r' = \frac{1}{L}r$$

Labur esanda, animalia baten bihotz-taupaden maiztasuna, beste antzeko batenarekin konparatuz,  $L^{-1}$  faktoreaz aldatuko da. Ondorioz, zenbat eta animalia handiagoa izan, hainbat eta txikiagoa izango da bere bihotzaren taupaden maiztasuna.

Adibidez, gizon bat eta umetxo bat antzekoak direla kontsideratuz, hauxe gertatzen da: Jaiotzegunean, umearen bihotz-taupaden maiztasuna oso handia izaten da (120 taup/min-koa baino handiagoa), eta gizonarena, ordea, gutxi gorabehera 60 taup/min-koa.

- B) **Urperatzearen iraupena.** Itsasoko ugaztunek urperatze bakoitzean gastatzen duten energia osoa honela idatz dezakegu:

$$E = (AM)t \quad \left[ \begin{array}{l} (AM) = \text{Abiadura metabolikoa} \\ t = \text{Urperatzearen iraupena} \end{array} \right]$$

Gainera, energia hau urperatzearen hasieran biriketan edo odolean gordeta dagoen oxigeno-kantitatearekiko proportzionala da:

$$\text{Gordetako oxigeno-bolumena} \propto (AM)t \quad \rightarrow \quad t \propto \text{Gordetako oxigeno-bolumena}/(AM)$$

$L$  eskala-faktoreaz lotutako itsasoko bi ugaztun antzeko hartuz, euren bolumenak  $L^3$  faktoreaz erlazionaturik daudela gogoratuz, eta dagozkien abiadura metabolikoak, aldiz,  $L^2$  faktoreaz, urperatzearen iraupenen artean erlazio hau aurkitzen da:

$$\frac{t'}{t} = \frac{B'/(AM)'}{B/(AM)} = \frac{B'/B}{(AM)'/(AM)} = \frac{L^3}{L^2} = L \quad \rightarrow \quad t' = Lt$$

$t'$  ugaztun handiaren urperatze-iraupena eta  $t$  txikiarena izanik.  $L > 1$  denez, ugaztun handia, txikia baino denbora luzeagoz egon liteke urpean.

- C) **Arraun-kirola.** Bukatzeko, azter dezagun adibide desberdin bat:  $L$  eskala-faktorea erabiliz, azter dezagun zein eragin duen traineruaren (edo beste itsasontzi olinpikoaren) abiaduran arraunlarien kopuruak.

Demagun  $n$  direla gure arraunlariak, bakoitza  $P$  potentzia berdinarekin. Beraz, lor dezakegun potentziarik handiena,  $nP$  izango da. Gure trainerua  $v$  abiaduraz mugitzeko behar dugun potentzia,  $F_I v$  izango da,  $F_I$  txaluparen eta uraren arteko marruskadurazko indarra bada. Esperimentalki froga daitekeenez, marruskadurazko indar hau, alde batetik, urpean doan txaluparen azalerarekiko proportzionala da eta, bestetik,  $v^2$ -rekiko proportzionala. Hau da, bi traineru antzeko hartuz gero,  $F_I$  marruskadurazko indarra  $L^2 v^2$  faktorearen arabera aldatuko da,  $L$  hori txalupen arteko eskala-faktorea izanik.

Hemendik, behar dugun potentzia,  $F_I v \propto L^2 v^2 v = L^2 v^3$  delakoaren arabera aldatuko da.

Potentzia biek (behar duguna eta lor dezakeguna) berdinak izan behar dutenez, hauxe idatz dezakegu:

$$nP \propto L^2 v^3 \quad \rightarrow \quad v^3 \propto \frac{nP}{L^2} \propto \frac{n}{L^2}$$

(zenbakitzailetik  $P$  kendu dugu, konstante bat baita, bai traineru handian zein txikian: traineruen neurriak handitu edo txikitu egiten dira, baina arraunlariak berdinak dira, eta bakarrik euren kopurua aldatzen da traineruaren bolumenaren arabera).

Traineruaren bolumena  $L^3$  faktorearekin aldatzen da, eta bolumen hau  $n$  arraunlarien kopuruarekiko proportzionala izango da. Hau idatziz:

$$L^3 \propto n \quad \rightarrow \quad L^2 = (L^3)^{2/3} \propto n^{2/3}$$

Erlazio hau goiko ekuazioan ordezkatzuz:

$$v^3 \propto \frac{n}{n^{2/3}} = n^{1/3}$$

Azkenik:

$$v = (v^3)^{1/3} \propto (n^{1/3})^{1/3} = n^{1/9}$$

Hau da:

$$v \propto n^{1/9} \quad (1.2)$$

Honek haxe esan nahi du: Traineru baten abiadura, arraunlarien kopuruaren bederatzigarren erroaren arabera handitzen da.

Hori balioztatzeko modu on bat, Olinpiadetan ateratzen diren emaitzetan aurki dezakegu. Egia esan, bertan parte hartzen duten kirolariak (arraunlariak) oso potentzia parekokoak dira, finalera heltzen direnak aukeratzen baldin baditugu. Beraz, potentzia berdina izatearen baldintza oso ondo betetzen da.

Horrela, Mexico-ko Olinpiadetan (1968. urtean), 2000 m-ko K-8 eta K-2 saileko txalupa-lasterketetan irabazi zutenek, ondoko batezbesteko abiadurarekin egin zuten bidea:

- K-8 :  $n = 8$        $v_8 = 5.65$  m/s
- K-2 :  $n = 2$        $v_2 = 4.82$  m/s

Balio hauek hartuz:

$$\frac{v_8}{v_2} = \frac{5.65}{4.82} = 1.172$$

eta (2) ekuazioa erabiliz:

$$\frac{v_8}{v_2} = \left( \frac{n_8}{n_2} \right)^{1/9} = \left( \frac{8}{2} \right)^{1/9} = 1.167$$

Emaitza bien artean, % 0.43-ko desberdintasun baztergarria aurkitzen dugu, eta aukeratutako metodoa erabilgarria izan daitekeela ikusten da.



## 2. Gaia

# Animaliak eta ingurunea. Kontrol-sistemak

Gaur eguneko garaian, konputadore eta makina zibernetikoen garaian, gero eta gutxiago harritzen gara horrelako makinek hainbeste gauza egiteko ahal direla entzutean: edozein lantegitan, konputadoreek gizakien tokiak harrapatzen ari dira, administrazioan, eskulangintzan, tresneria zientifikoan, medikuntzan, etab. Alde batetik harritzeko eta bestetik izutzeko da. Hurbil egongo ote da garaia non gizakiok tresna adimentsu hauen mende izango garen?

Lehendabizi, argitu ditzagun zenbait kontzeptu. Lehenik, tresna guzti hauen adimena ez dela guz suposatzen dugun handia esan beharko genuke. Egia esan, makina hauek, kasurik gehienetan, guk geuk agintzen dieguna baino ez dute egiten; hori gai, askoz hobeto eta azkarrago, hamaika bider azkarrago.

Gizakiok, bidegurutze batera heltzean, adar batetik ala bestetik abiatu aurretik, haren alde edo aurkako aukerak balioztaku beharko behar ditugu, geure helburua lortzeko zein den onena erabakitzeko, maila honetan denboratarte nabarmen luzea galduz. Makinek era berean lantzen dute, baina geuk ezarri dizkiegun programen mende. Horrek ez du meriturik. Makinek ere erratu egiten dute guk geure programak egiterakoan erratzen dugun neurrian. Haien abantaila nagusia haxe da: gainerantzeko errorean mende ez daudela, eta bidegurutze batera heltzean, baldintzak berdinak balira, beti bide berbera aukeratuko luketeela, zalantzarik gabe. Guk, berriz, ezin genezake horrelakorik esan.

Ikusitakoaren arabera, makina hauek kaikuak direla esan genezake, baina beste batzuekin ez da hori gertatzen. 1950. urtean, W. Grey Walter-ek **dordoka mekaniko** bat asmatu zuen, beraren anima edo motore pila elektriko bat izanik. Horma baten aurka edo beste edozein oztopo batekin topo egiten zuenean, beste norabide batean abiatzen zen, ia ia berez. Hurrengo pauso batean, zelula fotoelektriko bat ipini zion dordokari, argi motel baterantz abia zedin. Baina, horrez gain, zirkuitua, argi bizietaik alde egiteko prestatutik zegoen, bateria beterik zeudenean.

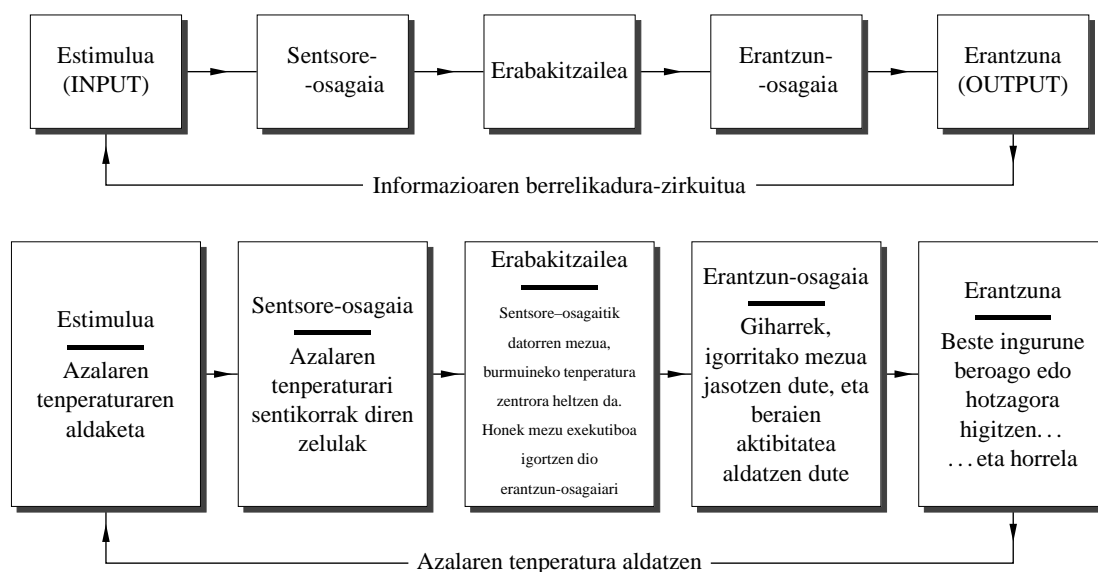
Hurrengoan, 'elikadura-kaxa' bat ezarri zion argipean, entxufe batez hornituz zegoelarik. Normalean, makina hura, urrunetik argi baterantz urbiltzen zenean, alde egiten zuen. Baina 'gose' zegoenean (edo bateria husten zihoanean), ez zuen sentitzen aldarapen hau. Orduan, 'elikadura-kaxan' sartuz, berriro kargatzen zuen bateria entxufera konektatuz. Bateria birkargatu ondoren, dordokak berriro sentitzen zuen argi biziakiko aldarapena, eta alde egiten zuen, behin eta berriz prozesu berbera osotuz. Benetan: ez ote da horrelakoa animalien portaera?

Baina ez gara zertan gure gorputzetik kanpora irten behar halako makinaren portaera bereizteko. Hurrengo atletan ikusiko dugunez, bai zeluletan, zein geure gorputzaren barrenean ere, hainbat eta hainbat adibide aurki daitezke makina zibernetiko hauen portaera dutenak.

### 2.1 Informazio-prozesatzaile gisa lantzen duten organismo biziak

Inguruneko aldaketen kausaz, segundoka organismo bizia erasotua izaten da, eta bere bizitza mantentzeko, eraso hauei aurre egin behar die, bere barnean dauden kontrol-sistemak direla medio, beraren egoera gehiegi aldatu

gabe. Erantzun hau bide desberdinetan eman daiteke, baina guztiek ia ia modu berean eragiten dute. Ondoko irudian aurkezten da eskema bat. Kontura zaitezte nola ezken erantzuna hurrengo ziklorako berriz nahitaez



2.1. IRUDIA. Animalia baten azalaren tenperatura erregulatzeko berrelikadura kontrol-sistema

estimulua dela. Suposa daitekeenez, ziklo hau etengabe betetzen da organismo bizietan, ez bakarrik azalaren tenperatura erregulatzeko, baina beste erregulazio askotarako ere. Izatez, goian aipaturiko erreazioen eredua, **berrelikadura-sistema** edo **feedback** izenez ezagutzen da. Sistema honen bidez, organismo biziak etengabe dihardute kanpotik datorkien informazioa prozesatzen, informazio honi beraiek sortzen dioten erantzunaz kanpoko erasoei aurre egiten, egoera propioa gehiegi aldatu gabe, eta barneko erantzun hauek sortzen duten informazioa berriro estimulu gisa hartuz, zikloa puntu berean hasiko litzateke, azken batez egoera berriaren kontrola lortu arte.

Honelako kontrol-sistema batek akatsen bat balu, ezin jasango luke ez kanpoko ez barneko egoeren aldaketarik, eta azkenean, edozer gauzak hariotza lekarkioke.

Ikus dezagun zein informazio jaso dezakeen organismo biziak:

- Orain bertako kanpoko ingurunearen egoerari buruzko informazioa.
- Orain bertako bere barneko ingurunearen egoerari buruzko informazioa (adibidez, odolaren tenperatura eta substantzia kimikoek dituzten kontzentrazioak).
- Iraganeko gertaerei eta inguruneei buruzko informazioa. Azken hauetan, organismo biziak *ikas* dezakeela iraganeko gertaeretatik esan genezake. Adibidez, estimulu konkretu bati erantzun egoki bat eman bazi-tzaion aldiune batean, egoera eroso berreskuratzeko, erantzun hau *memorizatu* egiten du organismoak hurrengo batean erabiltzeko egoera berebete berriz aurkituko balitz. Esate baterako, kanpoko molekula arraro konkretu batzuren aurka organismoak sortu zituen antigorputzak. Esan bezala, hau *gorde* egiten du organismoak, eta oraingo egitura biologikoan edota organismoak bere asabe edo ahaideengandik ja-rauntsitako DNAn.

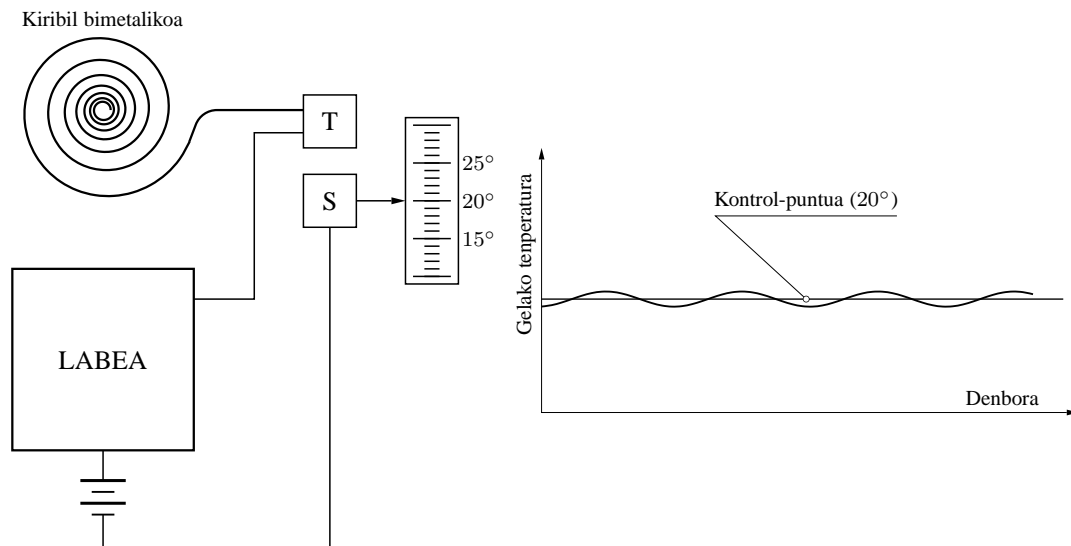
Kontrol eta berrelikadura-sistemen ikerketari, **zibernetika** deritzo. Sistema biologikoei aplikatzerakoan, zibernetikak berrelikadura eta kontrol-sistemen garrantzia azpimarratzen du, informazioaren prozesamenduari loturik, maila molekularretik ekologikoetara.

## Termostatoaren funtzionamendua

Beharbada, berrelikaduraz kontrolaturik dagoen sistemarik ezagunena termostatoa dela esan daiteke. Dilatazio-koefiziente desberdinak duten bi metalez osaturiko kiribila da sistema honen garrantzizko osagaia. Aipaturiko

koefizienteak desberdinak direnez, gela bateko tenperatura aldatzerakoan luzera desberdinetan luzatuko edo uz-kurtuko dira metale biak, ondorioz irudiko T kontaktua higiaraziko duelarik. Gelako tenperatura igoterakoan, T kontaktua gorantz higitzen da. T delakoak beste S kontaktua ukitzen duenean, labearen edo berogailuaren zirkuitua ixten da, berau martxan jarritz. Ondorioz, gelaren tenperatura altxatu egingo da. Baina arrazoi berbera-gatik, tenperaturak kontrol-puntuaren gainditzen baldin badu, T eta S berriro banandurik geratuko dira, zirkuitua eten egiten delarik, labea itzaliz.

Ziklo hau errepikatzean, gelako tenperaturak ondorengo irudiko beheko grafikan ikusten den bilakaera jarrai-tuko du, kontrol puntuaren inguruan gorabeherak eginez. S kontaktuaren posizioa aldatuz, kontrol puntua bera ere alda daiteke.



## 2.2. IRUDIA.

Sarritan, kasurik orokorrenetan, kontrol-puntu bat baino, bi jartzen dira, tenperatura bien artean mantentzeko (zirkuitua pixka bat konplexuagoa bihurtzen da, baina ez du zailtasun berezirik).

Esandakoaren arabera, bi gauza azpimarratu beharko genituzke: alde batetik, gelako tenperaturak kontrol-puntuarekiko igoera bat jasaten baldin badu (+), labea itzali egingo dela; eta bestetik, ordea, alderantzizkoa: gelako tenperatura kontrol-puntuarekiko beherakada bat jasaten baldin badu (–), labea piztu egingo da, ondorioz gelako tenperaturak gorantz egingo duelarik, kontrol-puntura berriro heldu arte.

Honako era honetan lantzen duten kontrol-sistemak (hau da, estimuluaren eta erantzunaren noranzkoak aurka-koak direnean), **berrelikadura negatibozko kontrol-sistemak** deitzen dira. Zirkuitua aldatuko bagenu, estimuluaren eta erantzunaren noranzkoak berdinak izan daitezkeen, ezingo luke kontrol-sistema bezala funtzionatu, zeren gelako tenperatura kontrol-puntuarena baino handiagoa balitz (tenperatura-aldea positiboa (+)), sistema-ren erantzuna labea piztea izango litzateke, gelako tenperatura etengabe igoten ziholararik (teorikoki, infinituraino), eta alderantzizkoa dena, gelako tenperatura kontrol-puntuarena baino txikiagoa balitz (tenperatura-aldea negatiboa (–)), kontrol-sistema berriak itzali egingo luke labea, eta itzalirik geratuko litzateke betirako, zeren gelako gero eta baxuagoa izango bait litzateke kontrol-puntuarekiko. Ikusten denez, azken kontrol-sistema hau ez litzateke benetako kontrol-sistema bat, zeren ez bait luke ezer erregulatuko. Mota honetako berrelikadura, **berrelikadura positiboa** deitzen da, eta kasurik gehienetan, suntzitzailea izango litzateke berak bakarrik lan egingo balu. Bakarrik berrelikadura positiboa daukan sistema batek ezin da izan egonkorra, baina berrelikadura negatibozko kontrol-sistemei loturik doazenez, bien artean kontrola ditzakete sistemen funtzioak.

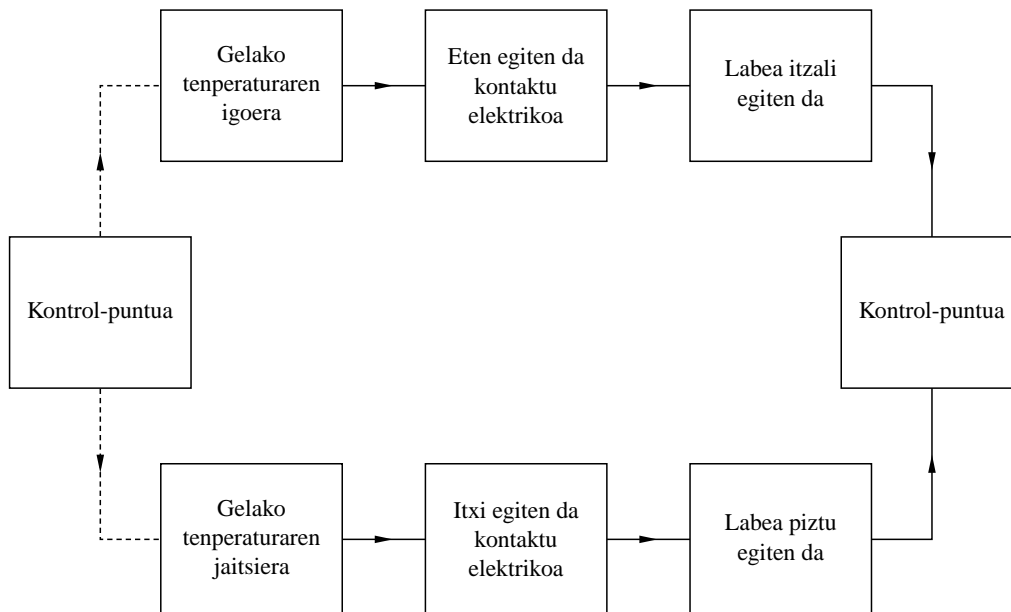
Organismo bizietan, berrelikadura-mota biek batera egiten dute lan, eta kasuren batean bat bakarrik egertzen bada, hori berrelikadura negatibozko kontrol-sistema izango litzateke. Hala eta guztiz ere, baldintza oso arraroak gertatzen direnean, posible izango litzateke berrelikadura positibozko sistema bakar bat agertzea, azken batez organismo bizia heriotzara daramalarik, hurrego adibidean azaltzen den bezala.

Demagun animalia batek odola galtzen diharduela. Odola-galera moderatua den neurrian, animaliak dauzkan berrelikadura negatibozko kontrol-sistemak mantendu ditzakete odolaren presioa eta fluxua, bihotzaren taupa-

den maiztasuna gehituz eta arteriak eta zainak hestutuz. Baina odol-galera gehitzen baldin bada, ez litzateke egongo nahiko odolik bihotzak behar duen energia mantentzeko. Orduan, berrelikadura positiboak parte hartuko luke, bihotzaren taupadak geldia jotzen eta, ondorioz, odol gutxiago helduko litzateke organismora. Ziklo honekin jarraituz, bihotzaren taupaden maiztasuna gero eta txikiagoa izango litzateke eta, azken batez, heriotzara eramango luke organismoa.

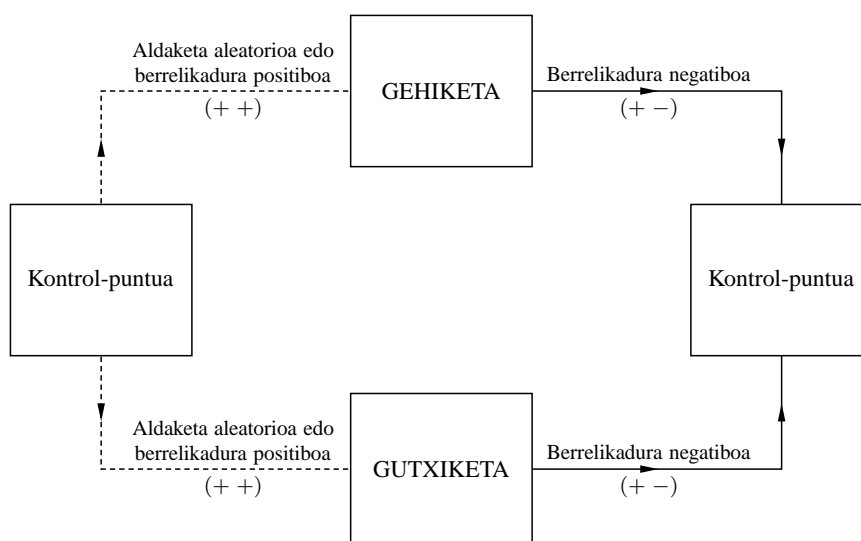
Adibide honetan ikusi dugunez, berrelikadura positiboak gero eta gehiago urruntzen du organismoa bere kontrol-puntutik. Aldiz, berrelikadura negatiboak zuzendo egiten ditu aldaketa hauek, bere kontrol-puntura berriro eramanez.

Berrelikaduraz lantzen duten kontrol-sistemak, sarritan ondorengo diagrama edo eskema erabiltzen dute (kasu honetan, termostato baten eskema adierazten da).



2.3. IRUDIA. Termostato baten eskema

Lerro etenak, kontrol-puntutik urruntzeko aldaketa bat adierazten dute (kanpoko estimulu batengatik edo sistemaren barneko eragin batengatik).



2.4. IRUDIA. Berrelikadura positibo eta negatiboko sistemen funtzionamendu-eraketa

Lerro jarraiak, aldiz, nola organismoa, sistemaren erantzunak direla medio, bere kontrol-puntura itzultzen den adierazten dute.

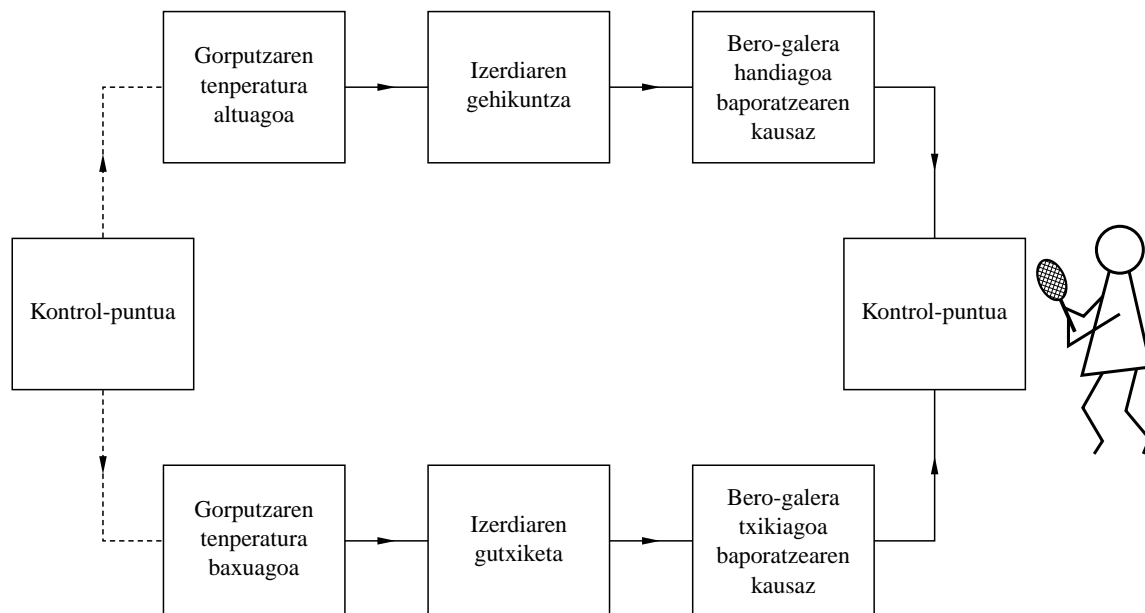
Goiko irudiak, berrelikadura negatiboz lantzen duen sistema zibernetiko bat adierazten du (erakusten diren modu biek ez dute batera lantzen, bata bestearen atzetik, noski).

Ondorio gisa, egia esateko, **sistema zibernetiko batek ez du iraungo beti kontrol-puntuari bertan**, kontrol-puntu honen inguruan gora eta behera ibiliko da (ikus ezazue lehen marraztutako gela baten tenperaturaren diagrama).

## Endotermoak

Organismo biziak zelulez osaturik daude, bakoitzak ehundaka molekula enzimatikoko daramatzalarik bere barnean gertatzen diren erreakzio kimikoen abiadurak kontrolatzeko. Dakizueenez, erreakzio kimikoen abiadura aldatu egiten da tenperaturarekin, eta normalean, erreakzio kimiko bakoitzarentzat tenperatura-koefiziente bat defini ahal daiteke (hau da, zein faktoreaz biderkatzen den erreakzio-abiadura tenperaturak  $10^\circ$ -ko igoera bat jasaten duenean). Baina, guztiz normala denez, erreakzio guztiek ez dute izango tenperatura-koefiziente berbera, eta organismoaren tenperaturak igoera bat jasango balu, lehen orekatuta zegoen organismoa desorekatu egingo litzateke, bertan gertatzen diren erreakzio kimikoen abiadurak era desberdinean aldatzen direlako. Nola erantzuten dio organismoak mehatxu honi? Ba zelula bakoitzaren barnean dauden berrelikadura-sistema bartzuren bidez, zeintzuek tenperatura-aldaketei moldatzen languntzen dioten. Bestalde, zelulek (eta, azken batez, organismo biziak) tenperatura optimo edo egoki bat dute lanean jarduteko, eta tenperatura honen inguruan dauden neurrian, gustura egingo dute lan. Hitz batean, **homotermo** izateak (hau da, barneko tenperatura nahiko uniforme mantentzeko gai den organismoa izateak), abantailak besterik ez dauzka, eta nabaria da Lurraren azken milioi urteetako historian nola ugaztunak eta egaztiak (zer ezanik ez, animalia homotermoak) izan direla nagusi.

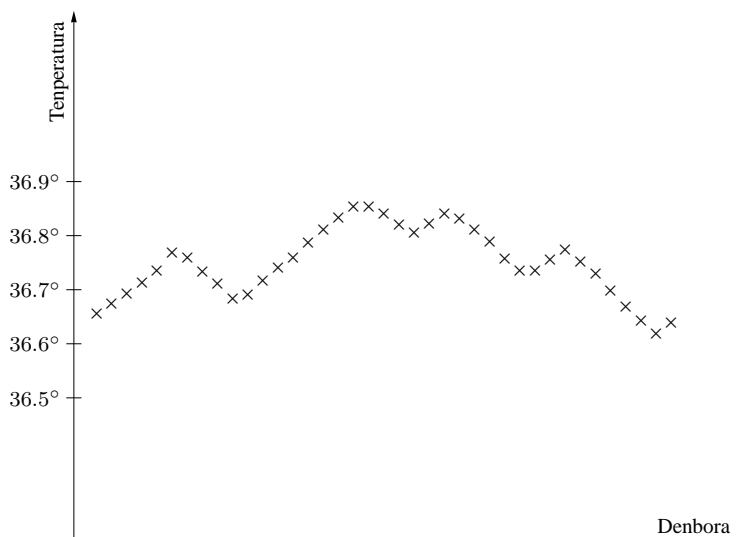
Baina, nola ugaztun batek, hala nola gizaki batek, manten dezake ia ia konstante bere barneko tenperatura? Bidea ez da bakarria, baina oraingoz, izerdian oinarritzen den berrelikadura negatibozko kontrol-sistema bat aztertuko dugu. Hona hemen horren eskema bat.



2.5. IRUDIA. Ugaztun baten barneko tenperatura kontrolatzen duen sistema zibernetikoa

Kontsidera ezazue kanpoko ingurunea bapatean beroago egiten dela. Ondorioz, honek ugaztunaren gorputzaren tenperaturaren gehikuntza bat ekarriko luke eta, horrekin batera, odolaren tenperaturaren gorakada bat. Burmuineko puntu konkretu batean, hipotalamoan hain zuzen, aurkitzen da gure sistema termostatikoa. Odola handik igarotzean, sistema honek neurtu egiten du beraren tenperatura. Kasu honetan, odolaren tenperaturak kontrol-puntua gainditu egiten duenez, termostato honek burmuineko tenperaturaren erregulazio-zentroari pasatzen dio informazioa. Ondorioz, honek agindu egiten die izerdi-glandulei izerdi gehiago atera dezaten,

eta izerdi honen baporatzeagatik bero gehiago galduko du gorputzak, eta ondorioz beraren tenperatura gutxitu egiten da eta berriro kontrol-puntura itzultzen da. Alderantziz, odolaren tenperatura kontrol-puntuarena baino txikiagoa egingo balitz, informazioek, agindiek eta abarrek, kontrol-puntua berreskuratzeko bidean egingo lukete lan hemen ere, bero-ekoizpena handituz eta bero-galerak murriztuz. Hau da, hain zuzen, berrelikadura negatiboz lan egiten duen kontrol-sistema baten adierazpena. Kasu honetan, eta berrelikadura negatiboz lan egiten duen edozein sistemat, tenperaturak ez luke guztik konstante iraungo, baizik eta kontrol-puntuaren inguruan fluktuatu egingo bait luke, ondorengo irudian adierazten den bezala.



2.6. IRUDIA. Gorputzaren tenperaturaren gorabehera normalak (6 minutuna neurturik).

Aipaturiko bero-galeraren kontrola (edo, azken batez, gorputzaren tenperaturaren kontrola) ez da animaliek erabiltzen duten bakarra. Beste batzuren artean, dardarak eta ikarak, lotsatzea eta abar aipa daitezke.

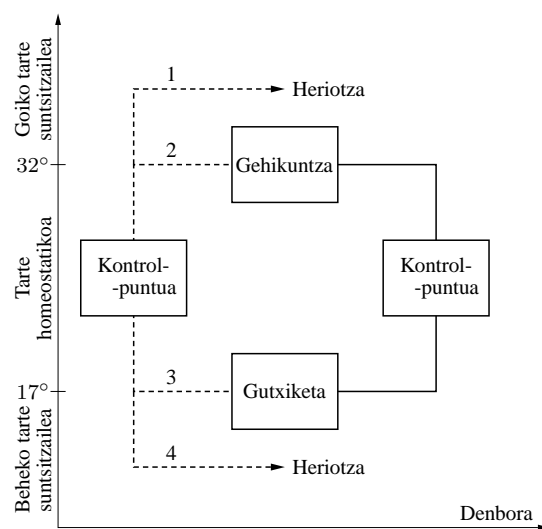
Homotermoen beste definizio hau emango dugu: Beraien gorputzen tenperatura nahiko uniforme mantentzeko animaliak, euren gorputzen barrenean sortarazitako beroaz baliatuz (metabolismoaz), **endotermoak** deitzen dira.

Orain arte aipaturiko kontrol-puntuak finkotzat hartu ditugu, baina esan beharra dago ezen organismoak berak kontrol-puntu hauek aldatzeko gai dela, prozesu fisiologikoen premiaz; esate baterako, gorputzak dauzkan tenperaturak gaurdian eta eguerdian ez dira berdinak, emakumeen hilerokoetan gauza antzekoa gertatzen da beste egun normalekin konparatzean, eta horrela beste hainbat kasu aipa ditzakegu non kontrol-puntua aldatuz doan.

## Homeostasia

Euren barne-egoera nahiko uniformea mantentzeko organismoek, tenperaturari dagokionez, **endotermoak** deitzen zaie, oraintxe bertan ikusi izan dugunez. Baina ez da bakarrik tenperatura organismoak erregulatzen duen magnitude edo gauza bakarra. Horra hor, adibidez, zeluletan ur-kantitatea erregulatzeko dauden sistema zibernetikoak, sufre-kantitatea odolean eta substantzia kimikoen kontzentrazioa beste fluidoetan erregulatzeko dauden sistemak... Ba, konstante fisiologiko guzti hauek erregulatzeko, organismoaren barne-egoera ahal den neurrian uniformea mantentzeko, organismoak erabiltzen dituzten sistema zibernetikoak, **sistema homeostatikoa** deitzen dira. Orain arte ikusi dugunaren arabera, eta kontrol-puntuak finkotzat hartzen dugun bitartean, organismoek euren erregulaziorako erabili dituzten kontrol-sistemak berrelikadura negatibozko kontrol sistemak izan dira. Baina esan behar genuke sistema homeostatikoek muga bat dutela euren lanerako. Adibidez, kontsidera dezagun aipaturiko gorputzaren tenperatura mantentzeko erabilitako kontrol-sistema. Kanpoko airearen tenperatura 17°C eta 32°C-ko tartean dagoen bitartean, sistema termostatikoa oso ongi lantzen du. Baina tarte horretatik at (esate baterako, airearen tenperatura 32°C-tik gora igoten bada, eta hezetasun erlatiboa % 100-koa bada), gorputzaren tenperatura 37°C-ko tenperatura gainditzen hasten da. Lehendabizikoan, hau

gorputzak berak sortarazten duen bero metabolikoa ezin duelako disipatu behar duen abiaduraz gertatzen da, baina jazo daiteke ere sistema termostatikoen huts baten kausaz izatea, adibidez, kanpoko egoera oso gogorra bihurtzen delako bizitzarako. Orduan, berrelikadura negatibozko kontrol-sistemak akatsen bat duenean, berrelikadura positiboak parte hartzen du: barneko tenperatura igotzean, erreakzio kimikoak bizkortu egiten dira, ondorioz bero gehiago sortarazten dutelarik. Honen kausaz, gorputzaren barneko tenperatura berriro igoko litzateke, erreakzio kimikoak gero eta gehiago bizkortzen joango lirateke, bero gehiago sortaraziz... Ikusten duzueenez, era honetan organismoa etengabeko ziklo sustitziailean sartzen da eta, azkenez, ziklo hau eten egiten ez bada, heriotza lekarkioke. Era berean, baina beheko muga beherantz gainditzen duenean (hau da, airearen tenperatura  $17^{\circ}\text{C}$ -koa baino txikiagoa balitz, eta termostatoak akatsen bat balu), berriro sartuko litzateke lanean berrelikadura positiboa, baina kasu honetan erreakzio kimikoak frenatzen, zeren, esan dugunez, erreakzio hauen abiadura tenperaturaren zuzenki proportzionala da, eta hau txikitzerakoan, erreakzio kimikoak ere moteldu egingo bait lirateke. Horren kausaz, gorputzaren tenperatura gero eta txikiagoa izango litzateke, ondorioz erreakzio kimikoak gero eta gehiago motelduz dihoazelarik... Berriz ere, ziklo suntsitzaile antzeko batean sartuko ginen, baina kasu honetan heriotza erreakzio kimikoak (metabolismoa) guztiz frenaturik edo gelditurik geratukolitzatekeelako letorkioke.



**2.7. IRUDIA.** Lau bide hauetatik, bik heriotzara daramazkigute (berrelikadura positiboa nagusi denean). Beste biek (2-3), aldiz, tarte homeostatikoaren barnean, egoera iraunkorrean gordetzen dute organismoa, berrelikadura negatiboa nagusi izanik.

Argi dagoenez, hemen aipatu dugun tarte homeostatikoa ( $17^{\circ}\text{C}$ -tik  $32^{\circ}\text{C}$ -rako), organismoa airean guztiz biluzik balego kasurako da. Oso beharrezkoa izaten da kasurik gehienetan organismoari lagun diezaiozun, jantzien eta berogailuen bidez, azalarekin kontaktuan dagoen airea tarte homeostatikoaren punturik egokienean egon dadin. Baina makina askoerekin gertatzen den antzera, sarritan atera egin behar du organismoa tarte homeostatik, sistema edo tarte homeostatikoa berreskuratzeko dagoen kontrol-sistema automatikoa martxan jartzeko, alferra bihurtu ez dadin.

## Berrelikadura biak batera erabiltzen ditezten kontrol-sistemak

Berrelikadura positiboa, beste kontrol-sistemarik berarekin batera lan egiten ez badu, suntsitzailea da, aurreko adibideetan ikusi izan dugunez, eta heriotzara eramango ditu organismoak. Baina organismo biziak, kontrol edo erregulazio sistemez gain (sistema homeostatikok), badituzte ere hazkunderako eta aldaketarako sistemak, hala nola zelulen hazkunde eta zatiketa, birsorkuntza, bilakaera genetikoa, etab. Fenomeno biologiko hauek ez lirateke posible izango sistema biologikoen sistema homeostatikoen bakarrik (berrelikadura negatibozko kontrol-sistemak) erabiliko balituzte. Aipaturiko fenomeno hauek berrelikadura-sistema biak erabiltzen dituzte.

Orain arte, erregulaziorako kontrol-sistemak, kontrol finkoa zeukatela kontsideratu izan dugu. Kasu hauetan, berrelikadura positiboak landuko izan balute, heriotzara eramango zuten organismoa. Berau kontrol-

puntu horren inguruan oreka egongorrean balego, edozein berrelikadura positibok desorekatu egingo liezaioke, kontrol-puntutik gero eta gehiago urrunduz. Baina kanpoko inguruneko egoeran aldaketaren bat gertatzen baldin bada, organismoak, berrelikadura positiboaz baliatuz, noranzko berberean aldatuko luke kontrol-puntua, organismoa egoera berri honetan berriro orekatu arte. Honako honetan, berrelikadura positiboak, negatiboarekin batera lantzen baldin badu, ez da izango suntsitzailea, **adaptatiboa** baizik. Badirudi kontrol-puntuaren esanahi hertsia apurtu egiten dela azken lerroetan esandakoarekin. Idazle batzuk, kontrol-puntu honen finkotasuna kentzeko, *erreferentzia-puntua* deritzo.