

eman ta zabal zazu



Universidad
del País Vasco

Euskal Herriko
Unibertsitatea

Informatika Ingeniaritzako Gradua
Konputazioa

Gradu Amaierako Proiektua

Ordutegien antolaketaren optimizazioa.
Kasu praktikoa: *Axular Lizeoa*

Egilea

Jorge Sánchez Mateos

Zuzendariak

Alexander Mendiburu eta Borja Calvo

informatika
fakultatea



facultad de
informática

2016

Laburpena

Dokumentu hau 2016. urtean Jorge Sánchez Mateosek, UPV/EHU unibertsitateko Donostiako Informatika Fakultatean Informatika Ingeniaritzako Graduan ikasle naizenak, egingako Gradu Amaierako Proiektuari dagokio. Proiektuaren zuzendariak Alexander Mendiburu eta Borja Calvo dira, Donostiako Informatika Fakultateko irakasleak.

Proiektua *Axular Lizeoa* ikastolarentzat egin dugu. *Axular Lizeoa* ikastola anitza da, apolitiko, laikoa eta balore demokratikoetan oinarritutako ikastetxea, alegia. Pertsonaren duintasuna, giza eskubideak, partaidetza eta ibilbide demokratikoak, elkarrekiko errespetua, heziketa ez sexista, biolentziaren gaitzespena, ingurumenaren errespetua eta, oro har, Giza Eskubideen Deklarazio Unibertsalean biltzen diren eskubideak bultzatzen ditu.

Proiektu honetan, *Axular Lizeoa* ikastolak eskaintzen dituen eskolaz kanpoko ekintzen ordutegia egituratzeko sistema automatikoa garatu da. Ordutegien Antolaketaren problema NP-komplexu konbinatoria motako optimizazio problema da. Azken bi hamarkaden zehar hainbat algoritmo proposatu dira problema ebazteko, eta horietako gehienak konputazio ebolutiboak bezalako metodo heuristikoetan oinarrituta daude. Nahiz eta eskola-ordutegien antolaketaren alorrean ikerketa asko egin den, eremu hau ez da heziketa-ordutegien antolaketaren barnean aurki ditzakegun unibertsitate-ikasturtea eta azterketa-ordutegien antolaketa bezain beste garatu. Eremu horretan egiten diren ikerlanak beraien artean isolatzen direla izan daiteke horren arrazoi. Gainera, eskola-ordutegien antolaketa problema-mota desberdinetan ez dira metodologiaren arteko arrakastan ikerlan konparatiborik egin. Guk programazio lineala erabili dugu problema ebazteko.

Hitz gakoak: heziketa-ordutegien antolaketa, programazio lineala, optimizazioa.

Gaien aurkibidea

Laburpena	i
Gaien aurkibidea	iii
Irudien aurkibidea	vii
Taulen aurkibidea	ix
1 Proiektua	1
1.1 Sarrera	1
1.1.1 Motibazioa	2
1.1.2 Proposatutako soluzioa	3
1.1.3 Memoriaren egitura	3
2 Proiektuaren Kudeaketa Plana	5
2.1 Helburuak	5
2.2 Irismena	6
2.2.1 Betekizunak	7
2.2.2 Mugak	7
2.2.3 Lan-metodologia	7
2.3 Entregatu beharrekoak	9

2.4	Antolakuntza-egitura	10
2.4.1	Lanaren Deskonposaketa Egitura (LDE)	10
2.4.2	Egutegia	13
2.5	Proiektuaren atalak	13
2.6	Proiektua gauzatzeko plana	14
2.6.1	Egutegia	14
2.6.2	GANTT-diagrama	16
2.7	Kalitate-plana	16
2.7.1	Eraginkortasunaren adierazleak	16
2.7.2	Arriskuak kudeatzeko plana	19
2.7.3	Kontingentzia-plana	20
2.8	Proiektuaren hartzaileak edo interesatuak	20
2.8.1	Komunikazio-plana	21
3	Ordutegien antolaketari optimoa: Aurrekariak	23
3.1	Zer da ordutegien antolaketa?	23
3.2	Heziketa-ordutegien antolaketa-problemen sailkapena	24
3.2.1	Eskola-ordutegien antolaketa	24
3.2.2	Unibertsitate-ordutegien antolaketa	25
3.3	Heziketa-ordutegien antolaketa-problemen formalizazioa	28
3.3.1	Eskola-ordutegien antolaketa	28
3.3.2	Ikastaro-ordutegien antolaketa	31
3.3.3	Azterketa-ordutegien antolaketa	32
3.4	Heziketa-ordutegien antolaketa-problema ebazten	33
3.4.1	Suberaketa Simulatua	33
3.4.2	Algoritmo Ebolutiboak	34

3.4.3	Tabu-bilaketa	35
3.4.4	Programazio osoa	35
3.4.5	Murrizketa programazioa	36
3.4.6	GRASP	36
3.4.7	Lauzadura algoritmoak	36
3.4.8	Hurbilpen hibridoak	36
4	<i>Axular Lizeoa</i> ikastolarako ordutegi-antolakuntza automatikoa	39
4.1	Testuingurua	39
4.1.1	Heziketa-ordutegi-antolaketa-problemen azterketa	41
4.1.2	Ondorioak	42
4.2	<i>Axular Lizeoa</i> ikastolarako ordutegi-antolakuntza automatikoaren formalizazioa	42
4.2.1	Erabaki-aldagaiak	43
4.2.2	Murrizketak	47
4.2.3	Helburu-funtzioa	50
4.3	Inplementazioa	51
4.3.1	Programazio lineala R^n ebazten	51
4.3.2	Eredu lineala eraikitze funtzioak	52
5	<i>Axular Lizeoa</i> ikastolako 2015/2016 ikasturteko ordutegi-ekin egindako probak	59
5.1	Problemaren ezaugarriak	59
5.2	Ebazpena	61
5.2.1	Helburu-funtziorik gabe	61
5.2.2	Helburu-funtzioarekin	64
5.3	Aldaketa	69
5.4	Ondorioak	72

6	Jarraipena eta kontrola	75
6.1	Proiektuaren garapena	75
6.2	Komunikazioak	78
6.3	Kalitatea	78
6.4	Arriskuak	80
6.5	Ebaluazio pertsonala	80
7	Ondorioak	83
7.1	Lortutako emaitzak	83
7.2	Etorkizunerako lana	84
7.3	Ikasitako lezioak	85
	Bibliografia	89

Irudien aurkibidea

2.1	Eguneroko iterazio-zikloa.	8
2.2	Proiektuaren Lanaren Deskonposaketa Egitura.	11
2.3	Ataza nagusien karga ehunekotan.	15
2.4	Jarraipen-taula.	15
2.5	Proiektuaren Gantt-diagrama.	17
2.6	Jarraipena eta kontrola egiteko egiaztapen-zerrenda.	18
4.1	Algoritmoa osatzen duten funtzioen eskema.	52
4.2	Sistemaren funtzionamenduaren egitura.	53
5.1	Eskaera-kopurua ekintza bakoitzeko.	60
5.2	Talde-kopurua ekintza bakoitzeko.	60
5.3	Ordutegia ekintzengatik antolatuta (Helburu-funtziorik gabe).	62
5.4	Ordutegia mailaka antolatuta - Haur Hezkuntza (Helburu-funtziorik gabe).	62
5.5	Ordutegia mailaka antolatuta - Lehen Hezkuntza 1 eta 4 mailak bitartean (Helburu-funtziorik gabe).	63
5.6	Ordutegia mailaka antolatuta - Lehen Hezkuntza 5 eta 6 mailak eta DBH (Helburu-funtziorik gabe).	64
5.7	Ordutegia ekintzengatik antolatuta (Helburu-funtzioa aplikatuz).	65
5.8	Ordutegia mailaka antolatuta - Haur Hezkuntza (Helburu-funtzioa aplikatuta).	66

5.9	Ordutegia mailaka antolatuta - Lehen Hezkuntza 1 eta 4 mailak bitartean (Helburu-funtzioa aplikatuta).	67
5.10	Ordutegia mailaka antolatuta - Lehen Hezkuntza 5 eta 6 mailak eta DBH (Helburu-funtzioa aplikatuta).	67
5.11	Lehen Hezkuntzako 5. eta 6. mailako kirol egunen ordutegia.	68
5.12	Helburu-funtzioa gehitzearen eragina, Haur Hezkuntzako ordutegian. . . .	70
5.13	Aldaeraren ordutegia ekintzengatik antolatuta (Helburu-funtzioa aplikatuz).	73
6.1	Jarraipen-taula. Aurreikusitako-denborak eta denbora-errealak adierazten dira, desbiderapenekin batera.	76
6.2	Ataza nagusientzako aurreikusitako eta benetan erabilitako orduen konparaketa.	77
6.3	Azpiatazentzat aurreikusitako eta benetan erabilitako orduen konparazioa.	77

Taulen aurkibidea

3.1	Heziketa-ordutegien antolaketan erabiltzen den terminologia.	24
4.1	Ikasleen eskaerak gordetzen dituen taula.	41
4.2	Eskolaz kanpoko ekintzek dituzten denbora-tarteak.	43
4.3	Sistemari sartu beharreko eskolaz kanpoko ekintzen datuak.	44
4.4	Sistemari sartu beharreko eskolaz kanpoko ekintza-taldeen datuak	45
4.5	Kirola-ekintzaren taldeen ordutegien datuak.	48
4.6	Eredu linealak itzuli ditzakeen erantzun kodeak.	57
5.1	Sistemari sartu beharreko eskolaz kanpoko ekintzen datuen adibidea.	71
5.2	Sistemari sartu beharreko eskolaz kanpoko ekintza-taldeen datuen adibidea.	72

1. KAPITULUA

Proiektua

1.1 Sarrera

Gaur egun, ordutegiak nonahi aurkitzen ditugu. Izan ere, ordutegiek heziketa-erakundeak, osasun-laguntza erakundeak eta garraio publikoak kontrolatzen dituzte. Collins Concise hiztegiak [1] honela definitzen du ordutegi terminoa: gauzatzen diren ordenaren arabera antolatutako ekintzen taula da. Ordutegiek eremuaren berariazko baldintzak bete behar ditu beti. Gure eremua heziketa izango da, eta Willeman-ek [2], heziketa-ordutegien antolaketa, ordutegi-antolaketaren azpiklasetzat definitzen du, ekintzak heziketa-erakundeetan gertatzen direlarik. Ekintzen artean lezioak egongo dira. Horretaz gain, heziketa-ordutegien antolaketaren barnean, beste bi azpiklase izango ditugu: eskola-ordutegien antolaketa eta unibertsitate-ordutegien antolaketa. Bigarrenaren barnean ere, beste bi mota bereiz ditzakegu: azterketa-ordutegien antolaketa eta ikastaro-ordutegien antolaketa.

Heziketa-sistemak ez datoz bat herrialde batzuetan, hots, ez dira berdinak izango leku guztietan, eta heziketa-sistema baten barnean, sistemaren mailak ere desberdinak izan daitezke. Ondorioz, hainbat ikuspuntu egon daitezke heziketa-ordutegien antolaketarako kategoriak bereizteko garaian. Kasu honetan, Carter eta Laporte-ren ikuspuntua izango dugu oinarri zeinak klase-irakasle eta ikastaro-ordutegien antolaketa bigarren hezkuntza-erakundeetan eta unibertsitateetan emango dela kontsideratzen duen, hurrenez hurren. Egungo heziketa-erakundeetan, kontrako puntutzat hartzen dituzte bi horiek.

Bigarren hezkuntzako eredu batean, egitarau berbera duten ikasleak biltzean sortutako klaseetan oinarritzen da ordutegien antolaketa. Ordutegiek ezin dute gatazkarik izan, trin-

koak izan behar dute, eta lezioen beste zenbait murrizketa bete behar dituzte. Ikasle-talde bakoitzak bere ikasgela duenez, denbora-tarteak eta klaseen esleipenak ez dute eraginik, kirol-instalazioak edo zientzia-laborategiak behar dituzten lezioetan izan ezik.

Bestalde, unibertsitate eredu batentzako banakako egitarauak prestatzea posible da. Aukera honek gatazkarik gabeko banakako ordutegiak antolatzea ataza zaila egiten du. Ikasleen aukerei ahalik eta gehien aurre egiteko, ordutegien arduradunak gatazkak minimizatzen saiatzen dira. Baina, ordutegien antolaketa ikasgela-esleipenen erruz sailtzen dira. Denbora-tarteak ere ikasgela-esleipenekin elkar eragiten dute, ikasgelen tamaina eta beharrezko materialak kontuan hartu behar baitira. Horrela, ikasgelak eta instalazioak toki desberdinetan daudenez, bidaia-denborak kontuan hartuko dira.

Donostiako *Axular Lizeoa* ikastolan ordutegien antolakuntza automatizatzen saiatuko gara. Ikastola horrek haur-hezkuntzatik batxiler-maila arteko ikasketak eskaintzen ditu, eta ikasle guztiek parte hartu ahal dute ikastolak berak eskaintako eskolaz kanpoko ekintzetan. Ekintza horiek goizeko eta arratsaldeko klaseen artean egiten dira, beraz, jangelaren ordutegiarekin elkar eragiten dute. Proiektu honetan, puntu horretan sortzen diren arazoak ebazten ahaleginduko gara, eta arazoak guztiz desagerrarazi ezin badira, horiek minimizatu. Gainera, garatuko dugun tresnaren malgutasuna ezaugarri nagusi bat izango da. Hau da, ekintza-kopuru desberdinekin probak egin ahalko dira, baita talde-kopuru desberdinekin ere. Izan ere, problema honek hiru atal ditu:

1. Ekintzak eta taldeak definitu.
2. Definitutako ekintzen eta taldeen lezioak, irakasleak eta tokiak definitu.
3. Ordutegia lortu.

Lehenengo atala ikastolako adituak burutuko du, zein ekintza eskaini eta zein ikasleri ondo pentsatuz. Gero, bigarren atalean definitzen denaren ondoren, gure tresna jarriko da martxan. Informazioa emango zaio eta honek asteko ordutegia emango digu.

1.1.1 Motibazioa

Proiektu hau aurrera eramateko interes nagusiak ikastolarena eta egilearena izan dira.

Alde batetik, *Axular Lizeoa* ikastolak eskolaz kanpoko aktibitateen ordutegia egituratzeko sistema bat nahi du, eta eskuz egiteko denbora eta lan handia aurreztu.

Bestalde, Gradu Amaierako Proiektuan, algoritmo desberdinekin egin nahi dugu lan. Izan ere, konputazioa alorretik, bi eremu gustukoena izan dira. Hainbat aukera aztertu ondoren, proiektu hau izan da gustukoena.

1.1.2 Proposatutako soluzioa

Aurkezten zaigun problema jakinik (4.1 atalean azalduko dena) eta arlo honetako jakinduria aberastu dugularik, *Axular Lizeoa* ikastolak eskolaz kanpoko ekintzekin duen antolaketari konponbidea aurkitzen lagunduko dion sistema sortu dugu. Horretarako, ekintzak, eta horien zehaztapenak, sarrera balioak izango dira sistemarentzat, eta problema bideragarria bada, ekintza bakoitzak duen ordutegia izango dugu bueltan.

1.1.3 Memoriaren egitura

1. **Proiektua:** Lehenengo kapituluan, proiektuan daukagun arazoa azaltzen dugu. Baita proiektu hau aukeratzera bultzatu gaituzten arrazoiak ere. Gainera, aurkitu nahi dugun soluzioa aipatzen dugu.
2. **Proiektuaren Kudeaketa Plana:** Proiektuaren kudeaketaren nondik norakoak azaltzen dira: proiektua nola egituratzen den eta nola inplementatzen den. Helburuak, irismena eta emangarriak deskribatzen dira, interesatuen paperekin eta betebeharrekin batera.
3. **Ordutegien antolaketari buruzko sarrera:** Hirugarren kapitulu honetan, ordutegien antolaketara sarrera ematen da, hots, aztertuko den alorrera sarrera. Bertan, ordutegien antolaketa zer den, nola sailkatzen den eta ebazteko metodo ohikoenak zein diren ikusiko dugu.
4. **Axular Lizeoa ikastolarako ordutegi-antolakuntza automatikoa:** Gure kasu konkretura hurbilduz, aurkezten zaigun testuingurua azalduko dugu. Gero, heziketa alorreko ordutegien formalizazioa aztertuko dugu, gure problema ebazteko oinarria izateko.
5. **Ordutegiak antolatzeko programaren garapena eta probak:** Behin problema formalizatuta, ebazpen-metodo batekin jarriko gara. Bertan, probak eta emaitzak aztertuko ditugu, eta emaitza horien ebaluazioa egingo da.

6. **Jarraipen eta kontrola:** Atal honetan, proiektuan zehar egindako lana berrikusten da, hasierako plangintza eta helburuak, lortutako emaitzarekin alderatuz.
7. **Ondorioak:** Proiektuaren osotasunetik ateratako ondorioak azaltzen dira.

2. KAPITULUA

Proiektuaren Kudeaketa Plana

Kapitulu honetan proiektuaren helburuak lortzeko egindako plangintza azaltzen da, baita jarraipena eta kontrola nola egin den ere. Plangintzaren barnean, proiektuak dituen ataza desberdinak identifikatzen dira, eta egutegi eta ordutegi bat zehazten da. Gainera, baliabideen, kalitatearen, komunikazioen eta arriskuen kudeaketa-planak ere azaltzen dira.

2.1 Helburuak

Proiektuaren helburuak bi multzotan banatzen dira: alde batetik, proiektuaren egilearen helburuak, eta, bestetik, *Axular Lizeoa* ikastolaren helburuak.

Ikaslearen helburuak

Helburu nagusia, proiektuko produktua da, hots, sistema egin ahal izateko bete beharrekoa. Helburu gehigarriak, helburu nagusien egikaritzapena errazteko edo Gradu Amaierako Proiektua osatzeko egin beharrekoak. Amaitzeko, hautazko helburuak, proiektua hobetzeko bete beharreko helburuak.

- Helburu nagusiak:
 - Orokorrak:
 - * Graduari lotutako konpetentziak aplikatzea, bilaketa egiteko gaitzea eta datu garrantzitsuak kudeatzea, antolatzea eta interpretatzea.

- * Konputazio espezialitatean ikasitakoa praktikan jartzen ikastea.
- Espezifikoak:
 - * Ikastola bateko ordutegien antolaketa-problemari aurre egitea.
 - * Aukeratutako algoritmoekin probak egin eta emaitza erabakigarriak lortzea.
 - * Eraginkortasun onena lortzen duen algoritmoarekin sistema prestatzea.
- Helburu gehigarriak:
 - \LaTeX editorearen erabileran sakontzea.
 - Bakarrik lan egiteko gaitasuna indartzea.
 - Egindako lan guztia azaltzen duen dokumentu mamitsu bat idaztea.
- Hautazko helburuak:
 - Emaitza moduan lortutako sistemaren interfazea garatzea.

Ikastolaren helburuak

Ikastolak bi helburu nagusi dauzka:

- *Axular Lizeoa* ikastolak eskolaz kanpoko aktibitateen ordutegia egituratzeko sistema bat nahi du.
- Sistema eraginkor bat lortzearekin batera, ordutegiak eskuz antolatzeke denbora aurrezte.

2.2 Irismena

Proiektu honen helburu nagusia, aurretik aipa bezala, *Axular Lizeoa* ikastolak eskaintzen dituen eskolaz kanpoko aktibitateen ordutegia antolatzeke sistema garatzea da. Horretarako, emaitza egokienak aurkitzeke algoritmoak bilatu eta aztertu ondoren, ordutegiak egituratzeko sistema egitea. Hortaz, irismena helburu horien arabera definitu dugu. Jarraian, betekizunak, mugak eta lan-metodologia azaltzen ditugu.

2.2.1 Betekizunak

Proiektuak Donostiako Informatika Fakultateak zehaztutako arauak bete behar ditu. Hurrengo zerrendan garrantzitsuenak listatu ditugu:

- Proiektua defendatzeko, graduko gainontzeko kreditu guztiak gaindituta izan behar dira.
- Proiektuak 12 kreditu ditu; beraz, 300 orduko dedikazioa eskatzen du.
- Proiektuko zuzendariak Informatika Fakultateko irakasleak izan behar dute.
- Proiektuak Informatika Fakultatean eskaintzen diren espezialitateko baten ingurukoa izan behar du; kasu honetan, konputazio espezialitatekoa.

2.2.2 Mugak

Kudeaketak ez dio proiektuari denbora gehiegi kendu behar; beraz, txosten honetan, kudeaketarako datu garrantzitsuenak jasotzen dira.

Proiektuak 300 orduko dedikazioa eskatzen duenez, algoritmo bakoitzarekin egindako proba kopurua ere mugatu behar da. Kopuru hori, ordea, ezin da orain mugatu, ez baitakigu proba bakoitzak zenbat denbora behar duen. Hori dela eta, lehenengo probekin hastean, balioespen bat egin eta kopuru bat mugatu behar da.

Honekin guztiarekin, Gradu Amaierako Proiektua denez, gutxienez 300 ordu lan egitea aurreikusten da.

2.2.3 Lan-metodologia

Zer eta nola egin?

Proiektua osatu ahal izateko, zenbait fase desberdinetatik pasa behar dugu:

Gaian kokatzea. Lehenengo zeregina bibliografia aztertu eta antzeko proiektu eta artikulak irakurtzea da.

Konponbideak proposatzea. Arazo nagusiak topatu ondoren, ikerketa artikulak irakurri behar ditugu, gehiago informatzeko. Horrela, problema ebazteko soluzio posibleak formalizatuko ditugu.

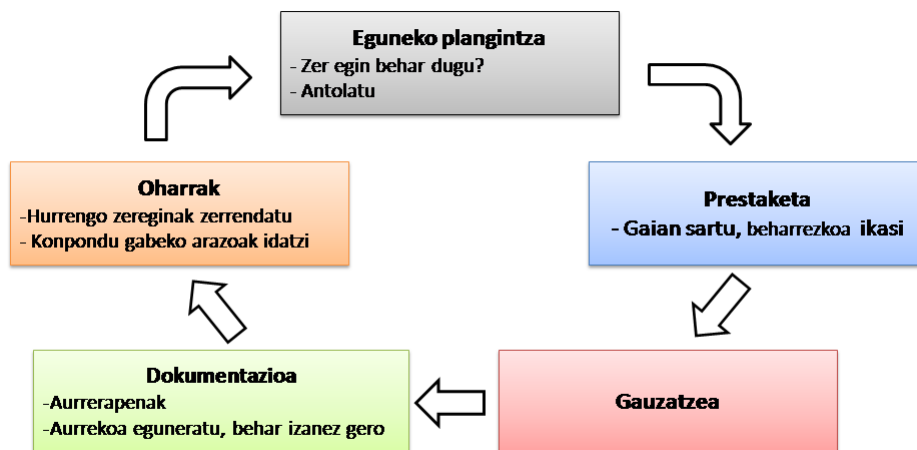
Implementazioa. Behin formalizazioa eginik, implementatu eta probatu behar da, emaitzetatik ondorioak ateratzeko.

Iteratiboki jarraitu. Konponbideak eta implementazioa egin ondoren, emaitzen ondorioak aztertu eta zuzendu.

Horretaz gain, proiektuaren bizi-ziklo osoan zehar, zuzendariarekin bilerak egin behar dira.

Eguneroko lan-metodologia

Proiektuan egunero denbora jardungo dugunez, horretan motibazioa mantentzeko egunero iterazio-plangintza jarraitzea erabaki dugu. Horretarako, 2.1 irudian ikus daitekeen grafikari egingo diogu kasu. Horrela, lanaldiaren hasieran, egunean zehar egin beharreko zereginak definitzen ditugu. Egunero ideia desberdinak izango ditugu eta ez da lan errepikakorra izango. Ordea, blokeatuta gelditzen bagara, beste ataza batean arreta jartzea nahikoa da, momentukoa hurrengo zereginetan idatziz, aurrerago beste ikuspuntu batetik begiratzeko.



2.1 Irudia: Eguneroko iterazio-zikloa.

Aipatutako iterazio-zikloari dagokionez, egun osorako zereginak definitzen hasiko dugu, agenda antolatuz. Beharrezkoa ez bada ere, zereginak egiteko prestakuntza garrantzitsua da eta tarte txiki bat ematea komeni da: artikulua irakurri, azken berrien gainean egon, kontzeptu jakin batzuk landu eta abar. Ondoren, mamiari ekin behar diogu. Zati horretan sartzen dira sistemaren aldaketak, probak edo proiektuaren emaitzarekin zerikusia

duen beste edozer; bilerak eta jarraipena, besteak beste. Gero, egindako aurrerapenak dokumentatu behar ditugu, baita aurreko dokumentazioa eguneratu ere, behar izanez gero. Amaitzeko, egin gabe gelditu diren atazak eta hurrengo egunean egin ditzakegun zereginak zerrendatu behar ditugu.

Hardware azpiegitura

Proiektu honetan lan egiteko ez da hardware azpiegitura berezirik beharko, hortaz, edozein ordenagailu erabil daiteke, erabiliko den softwarea badauka.

Erabilitako softwarea

Proiektua osatzeko honako softwarea erabiliko da:

- **Sistema eragilea:** Linux Mint 17.2 "Rafaela" eta Windows 10
- **Programazio ingurunea:** RStudio
- **Programazio lengoia:** R
- **Plangintza eta kudeaketarako:** Gantt Pro eta Microsoft Office paketea
- **Memoriaren dokumentaziorako:** \LaTeX eta Tex motorra (Texworks)
- **Aurkezpena egiteko:** Microsoft Power Point
- **Lanaren kopiak izateko:** Drive eta Dropbox

2.3 Entregatu beharrekoak

Proiektua amaitzean, hauek dira emangarriak:

Memoria. Proiektutik sorturiko emangarri nagusia da memoria. Dokumentu honek Gradu Amaierako Proiektu baten memoriaren gidalerroari jarraitu behar dio, formatu egokian egon behar du, eta egindako lan guztia azaldu behar du. Euskal Herriko Unibertsitateko ADDI plataformara igo behar da ekainaren 24a baino lehen, zuzendarien oniritzia jaso ondotik.

Aurkezpena. Proiektuaren defentsa egiteko prestatutako gardenkiak, nahiz eta aurkezpena entregatzea ez den beharrezkoa.

Sistema. *Axular Lizeoa* ikastolari sistemaren bertsio eraginkorrena eman behar zaio. Baita kodea bera ere.

Gratu Amaierako Proiektua *Jabego Intelektualaren Legeak* babestuta dago; beraz, proiektuaren jabea sortzailea da (ikasleak kontrakoa esaten ez badu). Hortaz, memoriak eta aurkezpenak lizentzia daukate.

2.4 Antolakuntza-egitura

Helburuak zehaztuta, Lanaren Deskonposaketa Egitura (LDE) eraiki dugu. Horren bitartez, proiektua osatzen duten atazak zeregin txiki eta zehatzagoetan banatu ditugu. Horrela, ondoren egin beharreko plangintza errazten da, ataza bakoitzerako beharrezko denboraren balioespen egokiagoa egitea ahalbidetzen baitigu.

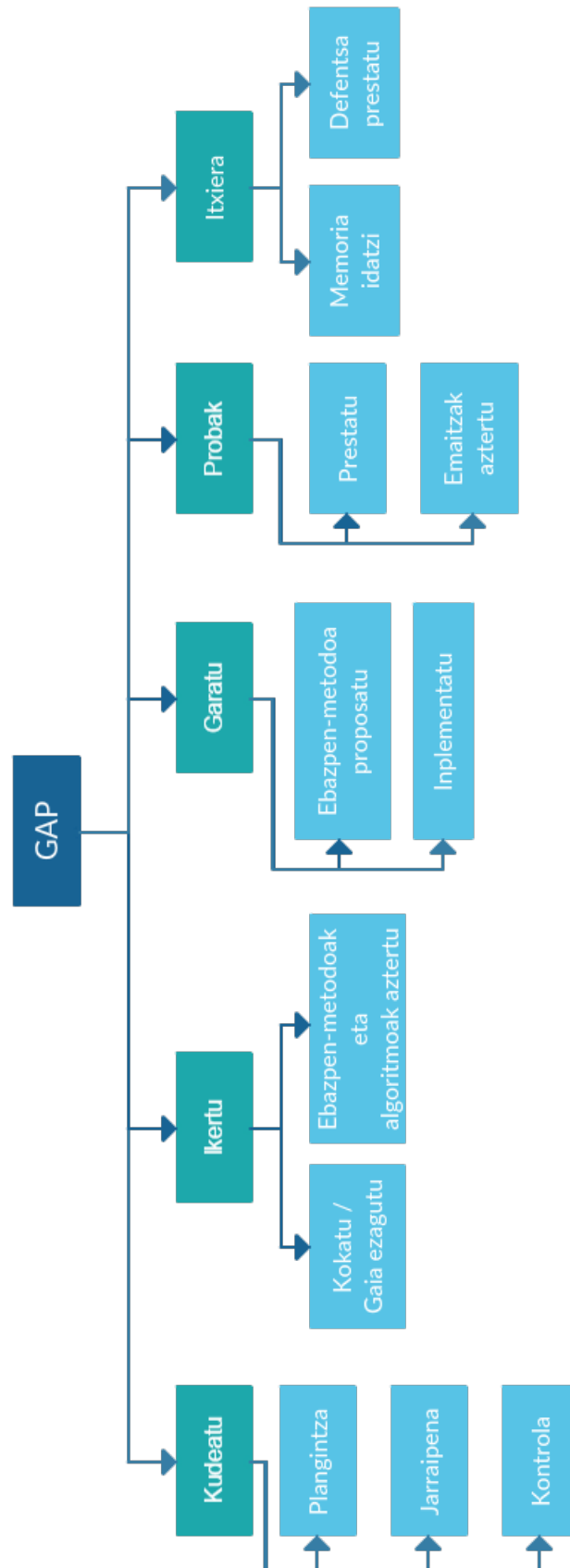
2.4.1 Lanaren Deskonposaketa Egitura (LDE)

Azpiatal honetan, proiektuaren bizi-zikloa osatzen duten ataza nagusiak identifikatzen dira: kudeaketa, ikerketa, garapena, probak, proiektua ixtea. Ataza bakoitzak bere barnean hainbat zeregin izango ditu, proiektuaren LDEan ikus daitezkeenak, [2.2](#) irudian.

Kudeaketa

Kudeaketaren barnean ataza ugari egongo dira. Horiek guztiak hiru multzo nagusietan banatzen dira:

- **Plangintza:** Proiektua aurrera eramateko egin behar diren zenbait aurreikuspen: egutegia eta orduen estimazioa, beharrezko baliabideak aurreikustea, proiektuaren kalitatea definitzea, arriskuak aurreikustea eta kontingentzia-plana prestatzea.
- **Jarraipena:** Proiektuaren zuzendariekin egindako bilerek osatzen dute, nagusiki. Elkarrekin hartutako erabakien arabera plangintza eguneratu behar da.
- **Kontrola:** Lanaren kalitatea, arriskuen eta aldaketen kontrolarekin zerikusia duten atazak bilduko ditugu.



2.2 Irudia: Proiektuaren Lanaren Deskonposaketa Egitura.

Ikerketa

Proiektuaren testuingurua hobeto ulertzeko asmoz, artikulua eta ikerkuntza-txostenak irakurtzea komeni da. Lan hori honela banatuko dugu:

- Problema ezagutzea: Arazoaren inguruko artikulua irakurri eta testuingurua ulertzea oso garrantzitsua da, ondoren landuko diren kontzeptuak argi izateko.
- Metodoak aztertzea. Arazoari konponbidea emateko egin beharreko ikerketa egingo dugu. Bertan, konponbideak inplementatzeko landu beharreko algoritmoen ikerketa biltzen dugu.

Garapena

Atal honetan, testuinguruan kokatuta gaudela, konponbideak ematea izango da helburua. Hots, ebazpen-metodoak proposatuko ditugu, aztertutako metodoen inguruan barneratutakoa kontuan izanik. Hurrengo atalarekin batera arituko da hau; begizta bat dela esan dezakegu.

Probak

Probetan bi atal nagusi ditugu:

- Prestaketa: Proposatutako algoritmoak aztertu ondoren, sistemari hoberen dagozkieken erabaki, eta parametroak eta aldagaiak finkatuko ditugu. Gero, sistema exekutatu eta aplikatuko dugu.
- Emaitzak aztertzea. Lortzen diren emaitzak bildu, eta horiek guztiak konparatuko ditugu, soluzio onena lortzen duen algoritmoa aukeratu ahal izateko. Esan beharra dago, proben prozesua berrelikatua izan daitekeela, proba batzuen emaitzek beste proba-mota bat egitera eraman gaitezke eta.

Proiektuaren itxiera

Azken atalean ere bi multzo ditugu:

- Memoria idaztea: Ataza honetan, honako zereginak aipatzen dira, besteak beste: egindako lana, sortutako arazoak eta nola egin zaien aurre, zer ikasi den proiektuan zehar eta ondorioak. Horretaz gain, proiektuaren bizi-zikloan ikasitako lezioak aztertu behar ditugu.
- Defentsa prestatzea: Bukatzeko, defentsarako prestaketak egin behar ditugu, batez ere, aurkezpenerako materiala eta saioa prestatu.

2.4.2 Egutegia

Proiektuaren txostena entregatzeko azken eguna Ekainaren 24a da. Beraz, ordurako proiektuak bukatuta egon behar du, gero, hurrengo asteetan, defentsa prestatu ahal izateko.

Plangintza zehatzagoa eta egutegia hurrengo atalean ikusiko ditugu.

2.5 Proiektuaren atalak

Proiektuaren bizi-zikloa lau fase nagusiz osatuta dago:

Hasieratzea

Hasteko, proiektuan egin beharrekoa ulertu eta lanari ekin behar diogu. Horretarako, proiektuaren zuzendariekin eta ikastolako arduradunekin lanaren nondik norakoak adostu eta zereginak definitu behar ditugu. Proiektuaren helburuak, irismena eta inplementazioa finkatu behar ditugu, interesatuek zer eta noiz jasoko duten jakin dezaten.

Plangintza

Zuzendariekin bilera izan ondoren, egin beharrekoa garbi daukagula, atazak, ekintzak eta zereginak identifikatu behar ditugu. Gainera, horiek aurrera eramateko behar den esfortzua balioetsi behar dugu, egutegian kokatu eta sor daitezkeen arazoak aurreikusi behar ditugu. Hala ere, aurreikustea soilik ez da nahikoa, kontrolatzeko eta aurre egiteko planak ere garatu behar ditugu.

Gauzatzea

Proiektua definituta dagoela eta plangintzaren lehen bertsioa bukatuta, proiektuaren mamiarekin hasi behar dugu. Hau da, proiektuaren helburuak lortzeko egin beharreko lanari ekin behar diogu. Atal honetan, soluzioak proposatu, probak martxan jarri, emaitzak aztertu eta abar egin behar ditugu. Hori baino lehen, hots, zeregin horiek guztiak egin ahal izateko, nahitaezkoa izango da lehenik gure burua prestatzea. Horretarako, beharrezkoak diren zenbait gauza ikertu eta ikasi beharko ditugu.

Gauzatze-prozesu osoan zehar, jarraipena eta kontrola egitea beharrezkoa izango da.

Ixtea

Proiektuaren bizi-zikloaren amaieran, txostena idatzi eta entregatu behar dugu, aurkezpenaren prestaketarekin batera.

2.6 Proiektua gauzatzeko plana

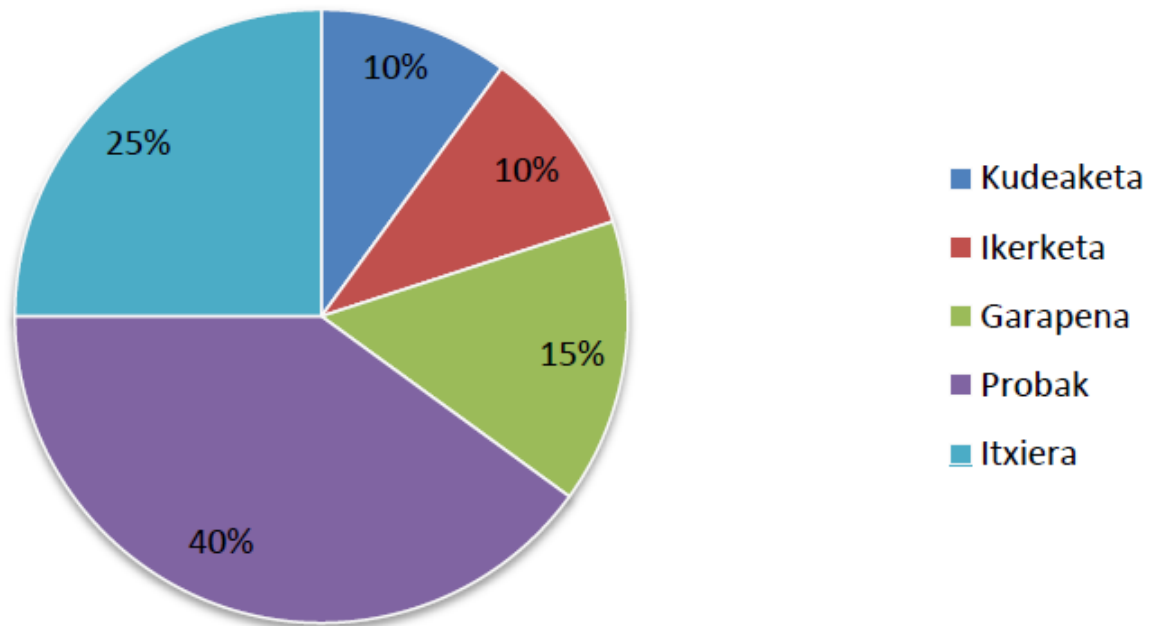
Proiektua osatzeko egin beharreko lanaren denbora edo dedikazioa estimatzen ditugu hurrengo atalean. Gero, programa bat proposatu dugu, LDEan oinarrituta. Horrela, zeregin bakoitza noiz egingo den adierazten dugu.

2.6.1 Egutegia

Lehenago egindako proiektuak oinarritzat hartuta, proiektuaren atal nagusiak betetzeko beharrezko lan-orduen estimazioak egin ditugu. Desbiderapenak gerta daitezkeela pentsatzen dugu, horrenbeste ordu ematen dituen proiektu batean ez baita lehenago parte hartu.

Jarraian, [2.3](#) irudian, ataza nagusien karga ehunekotan ikus ahalko ditugu. [2.4](#) irudian, aldiz, zeregin bakoitzaren estimazioen informazio gehiago ikusiko dugu: beharrezko denbora, hasiera- eta bukaera-data eta tartean lan egiteko daukagun egun-kopurua.

Egindako lanaren ahalik eta informazio gehien eta ahalik eta zehatzena gordetzeko, egun bakoitzean zenbat ordu eta zertan eman ditugun adieraziko duen kalkulu-orri bat sortu dugu. Horrela, jarraipen estuagoa egin dezakegu eta amaieran, grafikoak eta ondorioak lortzeko aukera daukagu. Estimazioen eta benetako lan-orduen konparazioa [6.](#) kapituluan ikus daiteke.



2.3 Irudia: Ataza nagusien karga ehunekotan.

Kodea	Ataza/Zeregina	Estimazioa			
		Denbora	Hasiera	Egunak	Bukaera
-	-	300	Urt-8	182	Uzt-7
1	KUDEAKETA	30	Urt-8	169	Eka-24
1.1	Plangintza	12	Urt-8	5	Urt-12
1.2	Jarraipena	11	Urt-15	162	Eka-24
1.3	Kontrola	7	Urt-15	162	Eka-24
2	IKERKETA	30	Urt-8	21	Urt-28
2.1	Arazoa ezagutzea	15	Urt-8	8	Urt-15
2.2	Metodoak aztertzea	15	Urt-20	9	Urt-28
3	GARAPENA	45	Ots-1	72	Api-12
3.1	Formalizazioa	45	Ots-1	72	Api-12
4	PROBAK	120	Ots-11	79	Api-29
4.1	Algoritmoa inplementatzea	85	Ots-11	72	Api-22
4.2	Emaitzak aztertzea	35	Ots-22	68	Api-29
5	ITXIERA	75	Mai-2	67	Uzt-7
5.1	Memoria idaztea	60	Mai-2	54	Eka-24
5.2	Defentsa prestatzea	15	Eka-25	13	Uzt-7
GUZTIRA:		300			

2.4 Irudia: Jarraipen-taula.

2.6.2 GANTT-diagrama

2.4 irudiko taulan ikusi ditugun datei jarraituz, proiektuko atazekin sortu dugun Gantt-diagrama 2.5 irudian ikus daiteke.

2.7 Kalitate-plana

Proiektuaren kalitate-maila minimoa betetzen dela ziurtatzeko, proiektuaren ezaugarriak kontuan hartzen dituen zerrenda dugu (ikus 2.6 irudia). Jarraipen- eta kontrol-prozesuetan zehar, hori betetzen dugu, uneko egoeraz jakiteko. Hurrengo azpiatalean proiektua arrakastaz betetzea ahalbidetuko duten ezaugarriak ikusiko ditugu. Gainera, arriskuak kudeatzeko plana eta kontingentzia-plana ere aztertu ditugu.

2.7.1 Eraginkortasunaren adierazleak

Proiektua arrakastaz betetzea neurtzeaz gain, proiektuaren helburuen egikaritzea kalitatearekin alderatzeko, ezaugarri adierazgarri batzuk definitu ditugu.

Adierazle kuantitatiboak

- Ordutegia mantentzea: proiektuaren helburua lana aurreikusitako egutegiarekin bat bukatzea da, hots, epeak bete.
- Lan egindako orduak: lana egiteko denbora plangintzan estimatuta dago. Hala ere, desbiderapenak gerta daitezke, eta orduen aldaketa gehienez %10 batean alda daitekeela onartzen dugu.
- Proba-kopurua: egiten diren probak proiektuaren kalitate-maila neurtzeko balioko dute.

Adierazle kualitatiboak

- Sistemaren eraginkortasuna: sistemaren bertsio berriak ez du exekutatzeko arazorik izan behar.



2.5 Irudia: Proiektuaren Gantt-diagrama.

Proiektuaren kalitatearen egiaztapen-zerrenda:	B/E
Proiektuaren egikaritzapena plangintzarekin bat dator	
Orduen estimazioak zehatzak edo onargarriak dira	
Aurreikusitako egutegia bete daiteke	
Irismena zehatza da eta eguneratuta dago	
Egindako lana irismenarekin bat dator	
Sistemaren errendimendua irismenarekin bat dator	
Egindako proba-kopurua nahikoa da	
Proiektuaren arriskuak kontrolpean daude	
Ez dago produktuari edo proiektuari eragin diezaioketen aldagai berririk. Baiezko kasuan, dokumentatuta dago	
Interesatuak behar bezala informatuta daude	
Proiektuaren azken segurtasun-kopia azken astean egin da	

Produktuaren kalitatearen egiaztapen-zerrenda:	B/E
Kodea ulergarria da	
Sistema behar bezala dabil	
Implementatutakoa irismenean definitutakoarekin bat dator	

2.6 Irudia: Jarraipena eta kontrola egiteko egiaztapen-zerrenda.

- Kodearen argitasuna: implementatutako kodeak garbia izan behar du, beharrezko azalpenak alboan dituelarik, eta aldagaiek zentzuzko izenak izango dituzte; hau da, sistema ezagutzen ez duen hirugarren pertsona batek zatikako inplementazioa ulertzeko gai izan behar du.
- Emaitzen asebetetzea: nahiz eta emaitzak asko hobetzea ez lortu, ateratako ondorioak adierazgarriak izan daitezke. Beraz, lortzen diren hobekuntza guztiak kontuan hartu behar dira.
- Esperientzia: proiektuaren emaitza edozein dela ere, proiektu honekin jorratutako arlo guztien inguruan lortutako ezagutza eta ikerketa-esperientzia emaitza onak dira.

Adierazle garrantzitsuak

- Zuzendarien oniritzia: proiektua ezin da amaitutzat eman zuzendariak ados ez dauden arte. Aldi berean, zuzendarien iritzi positiboa proiektuaren arrakastaren adierazletzat har dezakegu.

Adierazle gehigarriak

- Proiektuaren kalifikazioa: proiektua aurkeztu eta defendatu ondoren epaimahaiak emandako nota esanguratsua da proiektuaren kalitatea neurtzeko.
- Lanaren eragina zientzia-munduan: proiektu txiki baten aurrean gaudenez, argi dago ez duela zientzia-mundua irauliko, baina, beharbada, proiektutik lortutako ondorioak beste norbaiten ikerketan laguntzazkoak izan daitezke.
- Lanaren eragina ikastolan: *Axular Lizeoa* ikastolarako tresna baliagarria izango dela uste dugu.

2.7.2 Arriskuak kudeatzeko plana

Proiektu handia ez den arren, beste edozein proiektuan bezala, bere arrakasta zalantzan jartzen duten mehatxuak daude. Hori dela eta, arriskuen kudeaketarako plana egon behar da, eta egokia izan, mehatxuek ezusteko proiektuaren egikaritzea arriskua jar ez dezaten, dena aurreikusitako egutegiaren arabera bukatzeko.

Jarraian, aurki ditzakegun arriskuak:

- Hardware arazoak.
- Lana galtzea (kodea, memoria edo bestelakoak).
- Betebeharrak, helburuak edo irismena eguneratzea.
- Ezusteko programazio-arazoak.
- Esperotako hobekuntzak ez lortzea.

Alde batetik, proiektuaren lan guztia digitalki gordetzen denez, makinak arazo izan daitezke. Hori baino gehiago, informazioa galtzea izango litzateke arazo. Hortaz, garatutakoa seguru mantentzeko, *Google Drive* eta *Dropbox* erabiliko dugu, fitxategien kopiak hodeian izateko. Horretaz gain, *Git* eta *GitHub* erabilia, kodeari beste segurtasun-geruza bat gehituko diogu, eta bertsioen arteko kontrola eta antolaketa erraz dezakegu.

Hardwarea bezain kezkarria izan daitekeen arrisku bat, helburuen eta betebeharren eguneraketak izango dira. Proiektuaren bizi-zikloan zehar, zeregin berriak agertzen badira, proiektuan eragin dezaketen aldaketa handia izateaz gain, oso txarra izan daiteke. Hori dela eta, arrisku hau minimizatzen intentzioarekin, hasierako helburuak, betebeharrak eta

irismena ahalik eta zehatzen definitu behar dira. Gainera, proiektuaren jarraipen-faseak erabakigarriak dira. Izan ere, zenbat eta beranduago eguneratu, orduan eta handiagoa eragina.

Bestalde, inplementazio garaian, aldaketak egitea ohikoa izango da. Baina, sistemaren inplementazioa aldatzean, espero baino denbora gehiago eman dezakegu blokeatuta utzi gaituen arazo batekin. Gainera, esperotako emaitzak uste bezain onak ez izatea gerta daiteke. Hau da, nahiz eta hasierako proposamenek ustez hobekuntza batera bideratu, datuek uste horiek zaputz ditzakete.

2.7.3 Kontingentzia-plana

Proiektuaren bizi-zikloan zehar aurreko atalean aipatutako arazoren bat gertatzen bada, proiektuaren irismena arriskuan jarritz, lehenengo egitekoa arazoa konpontzen saiatzea da. Esate baterako, programazio-arazorik izanez gero, inguruko norbaiti laguntza eska diezaiokegu, edo, makinaren batek funtzionatu ezean, beste makina batean jarri.

Ordea, arazoa hobekuntzak ez lortzea bada, beste mota bateko probak edo aldaera desberdinak egitea probatu beharko dugu. Horrela, emaitzen jokabidea bata eta bestean aztertzeke.

Arazoa edozein dela ere, proiektuaren zuzendariekin eta, beharrezkoa bada, interesatuekin, bilera bat antolatu behar da, arazoari buruz hitz egin eta konponbidea aurkitzeko.

2.8 Proiektuaren hartzaileak edo interesatuak

Proiektuaren interesatuak lau mailatan banatu ditugu, interesaren eta inplikazioaren arabera. Interesatu nagusia ni neu naiz, proiektuaren egilea. Nire eginbeharra da proiektua aurrera ateratzea, horretan lan eginez, zuzendarien laguntza eta bideratzea eskertuko dudan arren.

Gero, bigarren multzo batean, *Axular Lizeoa* ikastolako ordezkariak daude, proiektu honen emaitza interesatzen baitzaie. Izan ere, emaitzak erabil ditzakete etorkizunean.

Hirugarren multzoan, proiektuaren zuzendariak daude: Alexander Mendiburu eta Borja Calvo. Beraien zeregina ikaslea proiektuan zehar bideratzea da, eta bi erantzukizun nagusi dituzte: proiektuaren inguruko zalantzak argitzea eta gainbegiratzen duten ikasleak proiektua arrakastarekin amaitzen duela ziurtatzea. Memoria aurkezten denean, txosten

bat aurkeztu behar dute, proiektuaren amaierako nota erabakitzerakoan kontuan hartzen dena.

Amaitzeko, proiektua ebaluatzen duen epaimahaia dago. Partaideek Informatika Fakultateko irakasle izan behar dute. Beren lana proiektua aztertzea eta kalifikatzea da, memorian eta defentsan aurkeztutako lanean oinarrituta. Epaimahaiko kide horiek Donostiako Informatika Fakultateko batzordeak aukeratzen ditu eta proiektuaren espezialitate berekoak izan behar dute. Kasu honetan, proiektua Konputazio adarrekoa denez, epaileek ere Konputazio Zientziak eta Adimen Artifiziala sailekoak izan behar dute; LSI-ko irakasleren bat ere egon daiteke, baina, proiektuaren espezialitatean irakasten duena. Azken interesatu hauek ez dute ikaslearekin inolako harremanik proiektuaren defentsaren egunera arte.

Aipatutako lau multzoez gain, interesatu gehiago egon daitezke. Proiektuaren gaian interesa daukaten irakasle edo ikasleak, baita ikerlariak ere. Gainera, proiektuaren defentsa irekia denez, edonor etor liteke proiektuaren aurkezpena entzutera.

2.8.1 Komunikazio-plana

Bi komunikazio-bide nagusi aukeratu ditugu: posta elektronikoa eta aurrez aurreko komunikazioa.

- Alexander Mendiburu eta Borja Calvo zuzendari eta irakasleekin posta elektronikoz komunikatzea adostu dugu. Hala ere, proiektuaren zati garrantzitsu eta handienetan, aurrez aurre komunikatzeko intentzioa daukagu.
- *Axular Lizeoa* ikastolako kideekin ere aurreko egoera berbera da. Hasiera batean, posta elektronikoz, baina, zerbait garrantzitsuagoa bada, aurrez aurre.
- Epaimahaiarekin, defentsaren egunean, aurrez aurre komunikatu behar gara.

3. KAPITULUA

Ordutegien antolaketari optimoa: Aurrekariak

Kapitulu honetan, aztertzen ari garen ikerketa-eremuaren funtsezko alderdiek izango dute garrantzia. Ordutegien antolaketa-problema definitzen saiatuko gara, baita problema honetan kontuan hartu beharreko murrizketak ere.

3.1 Zer da ordutegien antolaketa?

Ordutegien antolaketa-problema, ekintzak, murrizketak dituzten denbora-tarte jakin batzuetara esleitzean datza, eta soluzioa egutegi batean adierazten da. Wren [3] zientzialariak honela definitu zuen ordutegien antolaketa:

"Ordutegien antolaketa zenbait murrizketei lotutako baliabideak denbora-tarte jakin batzuetan sailkatzeko esleipena da, bete nahi diren beharrak ahalik eta gehien asebetez."

Emandako definizioan oinarrituta, bete beharreko ekintzetarako nahiko baliabide eskurgarri ditugun jakin behar dugu, esleitutako denbora-tartean. Esate baterako, azterketa-ordutegien antolaketaren eremuan, optimizatu beharreko helburu-funtzioa ikasle batek egin beharreko bi azterketen arteko tarte maximizatzea izango da. Problema hauetan erabiltzen den terminologia 3.1 taulan laburtzen da, eta gure memorian, terminologia hori erabiliko dugu.

Murrizketak bi kategoriatan bereiz ditzakegu: gogorrak eta bigunak. Lehenengoak, gogorrak, ezin dira hautsi. Ordea, bigunak ez dira nahitaezkoak, baina horien asebetetzea

Terminoak	Azalpena
Ekintza	Antolatu beharreko aktibitatea. Adibidez, azterketak edo lezioak.
Denbora-tartea	Ekintzak antola daitezkeen orduak edo denbora.
Baliabide	Ekintzetan beharrezkoak diren baliabideak. Adibidez, ikasgelak eta tresnak.
Murrizketa	Ekintzak antolatzeko baldintza. Adibidez, ikasgelaren edukiera.
Gizabanako	Ekintzetan parte hartzen duen pertsona.
Gatazka	Bi ekintzek talka egiten dute, edo gatazka dago hauen artean, baldin gizabanako komun bat duten eta denbora-tarte berberean dauden.

3.1 Taula: Heziketa-ordutegien antolaketan erabiltzen den terminologia.

garrantzizkoa da, kalitate oneko ordutegia sortzeko garaian. Azken hauei lehentasunak deritze.

Oro har, ordutegien antolaketaren problemak ekintza jakin batzuk ditu denbora-tarte jakin batzuk eta murrizketa jakin batzuk. Horren asmoa ekintzak denbora-tarteetan sartzea da, eta murrizketak betetzea, ordutegi bideragarria lortzeko. Murrizketen artean gogorrenak hurrengoak dira: bi ekintzek ezin dute denbora eta toki berberean gertatu, eta, ekintzeta-rako baliabide nahikoak egon behar dira.

3.2 Heziketa-ordutegien antolaketa-problemen sailkapena

Memoriaren sarreran esan bezala, heziketa-ordutegien antolaketa bi azpiklasetan banatzen dute literaturan: eskola-ordutegien antolaketa eta unibertsitate-ordutegien antolaketa. Gero, bigarrenaren barnean, ikastaro-ordutegien antolaketa eta azterketa-ordutegien antolaketa izango ditugu. Horrela, Schaerf-ek [4] hiru klase edo mota desberdintzen ditu: eskola-ordutegien antolaketa, ikastaro-ordutegien antolaketa eta azterketa-ordutegien antolaketa. Guztiek ordutegien antolaketa orokorrak dituen oinarritzko ezaugarriak partekatzen dituzte. Hala ere, desberdintasun adierazgarriak daude hiruen artean. Azpiklase bakoitzak bere murrizketak, betekizunak eta erregelak ditu.

3.2.1 Eskola-ordutegien antolaketa

Eskola-ordutegien antolaketaren problema eskolako lezio guztien asteroko esleipenean datza. Irakasleak, ikasle-taldeak, ikasgelak, irakasgaiak (lezioak), denbora-tarteak eta asteak izango ditu arazoak. Asteak aurrez definiturik egongo dira. Horrela, irakasgaiak

denbora-tarteetara esleitzen saiatuko gara, baita irakasleak ikasle-talde jakin batera ere, murrizketak betez, ordutegi bideragarria sortzeko asmoarekin. Eskola-ordutegien antolaketan egon daitezkeen murrizketen artean, ikasgelen edukiera eta kokapena, irakasleen zama eta lezioen arteko atsedena dira. Atal honetan egindako ikerketen inguruan, Suberketa Simulatua (Simulated Annealing), Algoritmo Genetikoak (Genetic Algorithms) eta murrizketetan oinarritutako ikuspuntua (constraint-based approach) metodoen erabilpena aurki dezakegu.

3.2.2 Unibertsitate-ordutegien antolaketa

Orain arte azaldu dugun bezala, unibertsitate-ordutegien antolaketa-problema bi kategoriatan banatzen da: ikastaro-ordutegien antolaketa eta azterketa-ordutegien antolaketak. Lehenengoari denbora-tarteen eta ikasgelen esleipen-prozesuari deritzo, irakasleen eta ikasleen arteko elkartzea egin ahal izateko. Bigarrena denbora-tarteen eta ikasgelen esleipen-prozesua ere bada, baina ikasleek azterketak egin ahal izateko helburuarekin. Bi problema hauek nahiko tankerakoak dirudite. Hala ere, desberdintasun bereizgarriak daude bien artean. Azterketa-ordutegien antolaketan, zenbait azterketa esleiri daitezke gela batera, aldi berean. Ordea, ezinezkoa da ikastaro-ordutegien antolaketan, gela bakoitzak bere ikastaroa baitu.

Azterketa-ordutegien antolaketa-problema

Azterketa-ordutegien antolaketa-problemak akademia-erakundeek gogoan hartu beharreko administrazio-aktibitateak adierazten ditu. Prozesu zail eta zorrotza da maiz, eta pertsona askori eragiten dio. Romero-ren [6] aburuz, hiru pertsona-multzo daude arazo honetatik arduratuak: administratiboak, akademia-langileak eta ikasleak.

Ikastaro-mota desberdinetan matrikulatutako ikasleak eta gradu bateratuen kopurua igotzen ari direla ikusten dute unibertsitateek. Honek guztiak azterketa-ordutegien antolaketa-softwareak hobetzeko erronka dakar, mundu guztian zehar dauden heziketa-erakundeek dituzten murrizketak eta eskaerak asebetetzeko asmoarekin.

Carter eta Laporte-k [5] honela definitu zuten azterketa-ordutegien antolaketa-problema:

"Azterketak erabilgarri dauden denbora-tarteetan esleitzeari dagokio, gatazkarik gertatzen dela kontuan izanik."

Azterketa-ordutegien antolaketa-problema ohikoa da eskoletan eta unibertsitateetan. Eta

lehenago ikusi dugunez, azterketek, denbora-tarteek eta murrizketek parte hartzen dute problemean. Murrizketen artean, gatazkarik ez egotea egongo da, eta hori murrizketa gogorra izango da.

Burke-k [7] 56 unibertsitatetan egin zuen ikerketari erreparatzen badiogu, erakundeen arteko murrizketak desberdinak direla ondorioztatzen dugu. Problema honetarako murrizketa gogorren adibideak honakoak dira:

- Azterketa jakin batzuek jarraian izan behar dute edo orden jakin bati jarraitu.
- Ikasle-kopuru handienak dituzten azterketak lehenago kokatu behar dira, hots, lehenago egin behar dira, ebaluatzeko denbora gehiago eskatzen baitute.
- Irakasle berberak emandako azterketek denbora-tartean topo egiten badute, aldameneko ikasgeletan izan beharko dute azterketek.
- Azterketa batzuek ikasgela jakin batean behar dute.
- Ikasgela horretan esleitutako ikasleentzat esertzeko nahikoa edukiera egon behar du.
- Ez du egon behar bi azterketa aldi berean duen ikaslerik.

Oro har, problema honetarako murrizketa gogortzat onartzen diren murrizketak honakoak dira: esertzeko nahikoa edukiera egotea eta bi azterketa aldi berean egiteko ikaslerik ez egotea. Murrizketa gogor guztiak betetzen dituen soluzioak soluzio bideragarri izena izango du. Bestalde, funtsezkoak ez diren betebeharrak ere egon daitezke. Horiek murrizketa bigunak deitu dira, eta Burke-ren [7] iritziz, ohikoenak honakoak dira:

- Ikasleek ez lukete egunean azterketa bat baino gehiago eduki behar.
- Ikasleek ez lukete azterketarik egin behar jarraian dauden bi denbora-tartetan.
- Ikasle bakoitzaren azterketak ahalik eta bidezkoen banatu beharko lirateke.
- Azterketa batzuk denbora-tarte jakin batzuetara esleitu beharko lirateke.
- Luzera berbereko azterketak ikasgela bereberek antolatu beharko lirateke.
- Gelak, azterketari dagokion sailetik gertu esleitu beharko lirateke.

- Galderak komunean dituzten azterketak denbora-tarte berebean esleitu beharko lirateke.

Mundu errealeko egoeretan, normalean ezinezkoa egiten da murrizketa bigun guztiak betetzea, baina horiek minimizatuz eta murrizketen penalizazioa aztertuz, soluzioaren kalitatea hobetzea lortuko dugu.

Azterketa-ordutegien antolaketa-problemarako programazio matematikoan oinarritutako ikuspuntu formala aurkeztu zuen de Werra-k [8].

Ikastaro-ordutegien antolaketa-problema

Carter eta Laporte-k [9] honela definitu zuten ikastaro-ordutegien antolaketa:

"Ikasleak eta irakasleak ikastaroekin edo klaseekin elkartzeko dimentsio anitzeko esleipen problema; ekintzak (ikasle eta irakasleen arteko bilerak) denbora-tarteetara eta ikasgeletara esleitzen dira."

Ikastaro-ordutegien antolaketa (klase/irakasle-ordutegien antolaketa izenarekin ere ezagutua) ikastaro-multzo jakin bat ikasgeletara eta aste barneko denbora-tarteetara lotzen da, eta, aldi berean, bilerak jazotzeko, ikasleak eta irakasleak ikastaroetara esleitzen dira. Klase eta irakasle-ordutegien antolaketa-problemarako grafikoen koloreztatzea bezalako konbinatoria-ereduak aurki daitezke de Werra-ren [10] & [11] ikerlanetan. Azterketa-ordutegien antzera, problema honetan murrizketa gogor eta bigunak izango ditugu. Murrizketa gogorren adibide izango dira hurrengoak:

- Ikasle edo irakasle batek ezin du bi lekutan egon une berean.
- Ikastaro bakar bat esleitu daiteke denbora-tarte batera ikasgela bakoitzean.
- Ikasgelaren kapazitatea ikastaroko ikasle-kopuruaren berdina edo handiagoa behar du.
- Ikastaroari dagokion ikasgelak ikastaroaren betebeharrak ase behar ditu.

Gero, Socha-k [12] problema nagusiari erlazionatutako zenbait murrizketa bigun eman zituen:

- Ikasleek ez lukete ikastaro/lezio bakarra izan behar egun batean.

- Ikasleek ez lukete jarraian dauden bi ikastaroetara baino gehiago joan behar egun batean.
- Ikasleek ez lukete egunaren bukaerari esleitutako ikastaro batera joan behar.

3.3 Heziketa-ordutegien antolaketa-problemen formalizazioa

Heziketa-ordutegien antolaketa ez da problema berria, eta horien inguruan ikerlan ugari egon dira. Horrela, hiru heziketa-ordutegien antolaketa-problema nagusiak aztertuko ditugu, baita horiek ebazteko metodo posibleak ere, gure problemaren ebazpenerako pistarik lortzeko helburuarekin.

3.3.1 Eskola-ordutegien antolaketa

Eskola bateko klase guztien asteroko ordutegien antolaketa, irakasle batek bi klaseekin batera ez egoteko baldintzapean, eta alderantziz. Ordutegien antolaketaren sarreran, mota desberdinak aztertu genituen, eta hau da lehenengoaren definizioa. Problema hori ebazteko, zenbait metodo dira posible.

Simplified Polynomial Problem

Eskola-ordutegien antolaketa-problema ebazteko honela definitzen du Schaerf-ek [4]. Hasteko, aldagaiak honakoak izango ziren.

- m klase: $C_1..C_m$
- n irakasle: $t_1..t_n$
- p denbora-tarte: $1..p$
- $R_{m \times n}$ murrizketa-matrizea: non r_{ij} -k irakasleak (t_j) klase bati (c_i) emandako lezio-kopurua adierazten duen.

Helburua: Metodo honek lezioak denbora-tarteetan esleitzea du helburu, non klaseak eta irakasleak ezin duten lezio bat baino gehiago izan denbora-tarte batean. Bete beharreko murrizketak honakoak dira.

Aurkitu x_{ijk} ($i = 1..m; j = 1..n; k = 1..p$),

honen mende,

$$(1) \sum_{k=1}^p x_{ijk} = r_{ij} \quad (i = 1..m; j = 1..n),$$

irakaslearen klase-kopurua bermatzeko,

$$(2) \sum_{j=1}^n x_{ijk} \leq 1 \quad (i = 1..m; k = 1..p),$$

denbora-tarte bakoitzean, irakasleak gehienez klase bat duela bermatzeko,

$$(3) \sum_{i=1}^m x_{ijk} \leq 1 \quad (j = 1..n; k = 1..p),$$

denbora-tarte bakoitzean, klaseak gehienez lezio bat duela bermatzeko,

$$(4) x_{ijk} = 0 \text{ or } 1 \quad (i = 1..m; j = 1..n; k = 1..p),$$

balio posibleak: 1 baldin k denbora-tartean, C_i klasea eta t_j irakaslea. Bestela, 0.

Soluzioa existituko da baldin eta soilik baldin,

$$(5) \sum_{i=1}^m r_{ij} \leq p \quad (j = 1..n),$$

klaseak gehienez p lezio,

$$(6) \sum_{j=1}^n r_{ij} \leq p \quad (i = 1..m),$$

irakasleak gehienez p lezio.

Ebazpena multigrafoa erabiliz egingo da, non erpinak klaseak eta irakasleak izango diren. C_i klasea t_j irakaslearekin lotuta r_{ij} ertz paraleloarekin.

Basic Search Problem

Aurreko azpiatalean erabilitako aldagaiez gain, Schaerf-ek [4] honakoa ere definitu zuen:

- T matrizea, $m \times p$ tamainakoa: $t_{ik} = 1$ baldin t_i irakaslea k denbora-tartean libre.

Bestela, 0.

- C matrizea, $m \times p$ tamainakoa: $c_{jk} = 1$ baldin t_j klasea k denbora-tartean libre. Bestela, 0.

Aurkitu x_{ijk} ($i = 1..m; j = 1..n; k = 1..p$),

honen mende,

$$(1) \sum_{k=1}^p x_{ijk} = r_{ij} \quad (i = 1..m; j = 1..n),$$

$$(7) \sum_{j=1}^n x_{ijk} \leq t_{ik} \quad (i = 1..m; k = 1..p),$$

denbora-tarte bakoitzean, gehienez irakasle-kopuru maximoa bermatzeko,

$$(8) \sum_{i=1}^m x_{ijk} \leq c_{jk} \quad (j = 1..n; k = 1..p),$$

denbora-tarte bakoitzean, gehienez klase-kopuru maximoa bermatzeko,

$$(4) x_{ijk} = 0 \text{ or } 1 \quad (i = 1..m; j = 1..n; k = 1..p).$$

Aurre-esleipenak:

$$(9) x_{ijk} \geq p_{ijk} \quad (i = 1..m; j = 1..n; k = 1..p),$$

non $p_{ijk} = 1$ baldin t_j irakasleak c_i klaseari k denbora-tartean eman behar dion. Bestela, $p_{ijk} = 0$.

Helburu-funtzioa

Optimizatu beharreko helburu-funtzioa ere definitu behar da; kasu honetan, jarraian dagoen funtzioa.

$$\min \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^p d_{ijk} \cdot x_{ijk}$$

Definitzen den helburu-funtzio honetan, d_{ijk} bektoreak adierazten duen informazioa falta zaigu. Zehazki, horrek t_j irakasleak c_i klaseaeri emango dion lezioa k denbora-tartean emateko alderantzizko nahia esan nahiko du. Hau da, balio hori zenbat eta handiagoa, lezio hori denbora-tarte jakin horretan izateko nahi gutxiago.

3.3.2 Ikastaro-ordutegiaren antolaketa

Unibertsitate-ikastaro baten lezioen asteroko ordutegiak antolatzea da helburua, ikasle komunak dituzten ikastaroen gainjartzeak minimizatuz. Problema hori ebazteko, honela definitzen dira baliabideak.

- q ikasmaita: $K_1..K_q$ eta K_i bakoitzak k_i lezio ditu
- r ikasketa-plana: $S_1..S_r$ eta ikasmaita-taldeak, komuneko ikasleekin
- p denbora-tarte: $1..p$
- l_k k denbora-tartean sar daitezkeen lezio-kopuru maximoa
- C gatazka-matrizea, qxq tamainakoa: 1 baldin K_i eta K_j ikasmaitak ikasleak komunean dituzten. Bestela, 0.

Aurkitu y_{ik} ($i = 1..q; k = 1..p$),

honen mende,

$$(11) \quad \sum_{k=1}^p y_{ik} = k_i \quad (i = 1..q),$$

ikasmaita bakoitzak lezio-kopuru zuzena duela bermatzeko,

$$(12) \quad \sum_{i=1}^q y_{ik} \leq l_k \quad (k = 1..p),$$

denbora guztian, emanten diren lezioak gelak baino gutxiago direla bermatzeko,

$$(13) \quad \sum_{i \in S_l} y_{ik} \leq 1 \quad (l = 1..r; k = 1..p),$$

gatazka-lezioak une berean ez jartzeko,

$$(14) \quad y_{ik} = 0 \text{ or } 1 \quad (i = 1..q; k = 1..p)$$

balio posibleak: 1 baldin K_i ikasmailako lezioa k denbora-tartean. Bestela, 0.

Helburu-funtzioa

$$\max \sum_{i=1}^q \sum_{k=1}^p d_{ik} \cdot y_{ik},$$

non $d_{ik} = K_i$ ikasmailako lezio bat k denbora-tartean izateko nahia.

d bektore horrek lezioa denbora-tarte jakin batean izateko nahia adieraziko du, ez alde-rantzizko nahia. Beraz, kasu honetan, balio handiagoak jarri beharko dira lezioa burutu nahi den denbora-tarteetan.

3.3.3 Azterketa-ordutegien antolaketa

Unibertsitateko ikasmaila-multzoen azterketak antolatu nahi dira, komuneko ikasleak dituzten ikasmilen azterketak ez gainjarriz, eta azterketak ahalik eta gehien zabalduz. Kasu hau aurrekoaren oso parekoa da, baina, lezioak izan beharrean, azterketak egongo dira. Edonola ere, aldagaiak era egokian definitu behar dira.

- q ikasmaila: $K_1..K_q$ eta K_i bakoitzak azterketa bat izango du
- r azterketa-multzo: $S_1..S_r$
- p denbora-tarte: $1..p$
- l_k k denbora-tartean sar daitezkeen azterketa-kopuru maximoa

Aurkitu y_{ik} ($i = 1..q; k = 1..p$),

honen mende,

$$(15) \quad \sum_{k=1}^p y_{ik} = 1 \quad (i = 1..q),$$

ikasmaila bakoitzak azterketa-kopuru (1) zuzena duela bermatzeko,

$$(16) \quad \sum_{i=1}^q y_{ik} \leq l_k \quad (k = 1..p),$$

denbora-tarte guztietan, emanten diren azterketak gelak baino gutxiago direla bermatzeko,

$$(17) \sum_{i \in S_l} y_{ik} \leq 1 \quad (l = 1..r; k = 1..p),$$

gatazka-azterketak une berean ez jartzeko,

$$(18) y_{ik} = 0 \text{ or } 1 \quad (i = 1..q; k = 1..p),$$

balio posibleak: 1 baldin K_i ikasmilako azterketa k denbora-tartean. Bestela, 0.

Helburu-funtzioa

$$\sum_{k=1}^{p-1} \sum_{l=1}^r \sum_{i, j \in S_l} y_{ik} \cdot y_{jk+1}$$

Gaineko funtzioak S_l talde berdineko azterketen arteko l pareak zenbatzen ditu. Izan ere, $y_{ik} \cdot y_{jk+1}$ adierazpenak 1 balioa hartu du baldin y_{ik} eta y_{jk+1} bat balioa badute.

3.4 Heziketa-ordutegien antolaketa-problema ebazten

Atal honetan, heziketa-ordutegien antolaketa-problemari konponbidea ematen dioten metodoak aztertuko dira. Teknika hauen azterketa lanean jarraitzen duen ikerketa da, eta, dudarik gabe, sakona. Problema-mota hori ebazteko metodoen artean honakoak izango ditugu: suberaketa simulatua [32], algoritmo ebolutiboak [33], tabu-bilaketa [34], programazio osoa [35], murrizketa programazioa [36], GRASP [37] eta lauzadura algoritmoak [38]. Kasu batzuetan, bi metodo edo gehiago bateratuz, ikuspuntu hibridoak inplematzen dira. Ikerketa konparatiboek bi teknika edo gehiagok kasu partikular batean duten portaera gauzaten dute. Eta hemen, metodo eta ikerketa horien laburpena egingo da.

3.4.1 Suberaketa Simulatua

Abramson-ek [13] suberaketa simulatua aplikatu zuen eskola-ordutegien problemari. Ato-moak ordutegiaren elementuak izango dira, eta energia, ordutegiaren kostua. Ordutegien antolaketa errazteko asmoarekin, esleipenak ikasgela-taldetan egiten dira, banakako ikasgeletan beharrean. Sistema Australiako eskola batean probatu zen.

Melicio eta bestek [14] THOR izeneko eskola-ordutegiaren antolaketara burutzeko tresna garatu zuten, Portugalgo eskoletarako. Hasteko, THOR-ek hasierako soluzio bat sortzen du, heuristiko eraikitzaileen algoritmo bat erabiliz. Gero, soluzioa hobetzen da suberaketa simulatuaren erabilpenarekin.

3.4.2 Algoritmo Ebolutiboak

Lehenago aipatu dugun Abramson-ek [13] algoritmo genetikoak erabili zituela eskola-ordutegiaren antolaketa-problema ebazteko. Paraleloan, beste algoritmo bat erabiltzen da, prozesua azkarragoa izan dadin. Kromosoma bakoitzak n denbora-tarte izango ditu, eta denbora-tarte bakoitzak m sekuentzia. Mutazio eragileak sekuentzien denbora-tarteak aldatuko ditu. Gurutzaketa ere bi kromosometara aplikatzen da, kromosoma bakoitzean gurutzaketa-puntua aukeratuz, eta, gero, aldaketa eginez. Prozesu horretan lortzen den umeak, lehenengo gurasoaren lehenengo zatia izango du, eta bigarren, gurasoaren bigarren zatia. Hortaz, gurutzaketaren ondorioz, umeetan gene errepikatuak egon daitezke, baina baita galdutako geneak ere. Hori konpontzeko, etiketa-ordezkapena egiten da. Algoritmoa nahiko murriztuak zeuden 9 eskola-ordutegiaren antolaketa-problema ebazteko erabili zen.

Beligiannis eta bestek [15] algoritmo genetiko egokituak erabili zituzten. Populazioaren elementu bakoitza matrize bat izango da, non errenkadak ikasgelak diren, eta zutabeak, denbora-tarteak. Matrize-gelaxka bakoitzak gordeko du denbora-tarte horretan eta ikasgela horretan klase emango duen irakaslearen izena. Hasierako ikerketek gurutzaketa eraginkorra ez zela frogatu zuten, eta ez zen erabili. Denbora-tarteko mutazio-operadoreak irakasleak aldatzen ditu, gela baten bi denbora-tarteen artean. Aldaketa egiteko denbora-tarteak ausaz aukeratzen dira. Hala ere, denbora-tarteak ez dira ausaz hautatu behar, baizik eta irakaslearen ordutegian "kostu handiena" duten biak. Horretaz gain, gurasoen aukeraketa maila linealaren bidez egiten da. Generazio bakoitzeko kromosoma hoberena hurrengo generaziora pasako da, hori mutatzeko. Algoritmo honek soluzioak arrakastarekin sortu zituen Greziako eskoletan.

Caldiera eta bestek [16] algoritmo genetikoak ebaluatu zituzten problema-mota hau ebazteko. Hasieratze-prozedura bat erabiliko da bideragarria den ordutegiaren hasierako populazioa lortzeko. Gero, algoritmo genetikoak aplikatuko dira hasierako populazioaren kalitatea hobetzeko. Aukeraketak egiteko, erruleta-hautaketa eta metodo ultra-elitista bat erabiltzen dira. Bestalde, erreprodukzioa, mutazioa eta gurutzaketa gurasoei aplikatuko zaie,

ondorengo generazioa lortzeko. Horiek bideragarriak direla egiaztatzeko, konponketa-algoritmoak erabiliko dira.

Filho eta bestek [17] algoritmo genetiko eraikitzailea erabili zuten, Brasileko bi eskoleta-problemei konponbidea emateko.

Algoritmo genetikoekin bukatzeko, Raghavjee eta lankideek [18] murrizketa asko zituen eskola-ordutegien antolaketa-problemarako erabili zituzten. Lehendabizi, gradu handieneko heuristikoez baliatuz, eraikitze-metodo sekuentziala erabiltzen du algoritmoak, ordutegien hasierako populazioa sortzeko. Mutazio-operadorea hasierako populazio hori iteratiboki fintzeko erabiltzen da. Gero, generazioko gurasoak erabakitzeko, lehiaketa-hautaketaren aldaera bat erabiltzen da. Algoritmo honek soluzioa aurkitzen du eta problema berberetara aplikatutako beste edozein metodok baino emaitza hobekoak lortzen ditu.

3.4.3 Tabu-bilaketa

Bello eta bestek [19] grafoen koloreztatze-problematzat tratatzen dute eskola-ordutegien antolaketa-problema. Grafo bat sortzen da eta, Tabu-bilaketaren moldaera baten grafoen koloreztatze-algoritmoa (Tabucol) erabiliz, egiten da koloreztatzea, Modified Tabucol izena duena. Sistema hori Brasileko bost eskolatan aplikatu zen.

Bestalde, Jacobsen eta besten [20] ikuspuntutik, hasiera batean, grafoen koloreztatze-algoritmoa duen heuristiko eraikitzailea erabiliz, sortzen da hasierako soluzioa. Ondoren, soluzio hori Tabu-bilaketarekin hobetzen da. Alemaniako eskoletan erabili zen azken hau.

Amaitzeko, Santos eta bestek [21] algoritmo eraikitzailea erabili zuten, hasierako soluzioa lortzeko. Ordutegiaren kalitatea areagotzeko, hasierako soluzioari tabu-bilaketa aplikatzen zaio, dibertsifikazio-estrategia erabiliz. Ikerketak estrategia horrek bere helburua, ordutegien kalitatea hobera egitea, lortzen duela erakusten zuen. Brasileko eskoletan erabili zen.

3.4.4 Programazio osoa

Ikerlan zaharrago batean, Birbas [23] programazio osoa erabili zuen Greziako eskola-ordutegien problema ebazteko. Lan hori Birbas eta besteek [24] hedatu zuten, eta ikuspuntu hibridoa hartzen dute oinarritzat. Alde batetik, lehenengoak, denbora-tarteen esleipen-problema ebazten du, zeinak irakasleak denbora-tarteetara lotzen dituen. Ondoren, biga-

rrenak, eskola-ordutegien antolaketa-problema ebatzen du, eta, bietan, programazio osoa erabiltzen da.

Santos eta bestek [22] programazio oso mistoa erabili zuten, Brasileko eskolen ordutegiak eraikitzeko. Mozketa eta zutabe-sortzaile algoritmoa implementatu zuten horretarako.

3.4.5 Murrizketa programazioa

Valouxis eta bestek [25], bilaketa lokalarekin bateratuz, murrizketa programazioa erabili zuten, Greziako eskoletan. Metodo hori ordutegi bideragarriak aurkitzeko erabiltzen da. Gero, ordutegien kalitatea hobetzeko, bilaketa lokala aplikatzen da, hobekuntza gehiago egin ezin den arte. Gelditze-irizpidea exekuzio-denbora da, zehazki, ordu bete.

3.4.6 GRASP

Moura eta bestek [26] GRASP, bidea berriro lotzeko estrategiarekin batera, erabili zuten Brasileko hiru eskolatan. Algoritmo honek hiru faseko ikuspegia du. Lehendabiziko fasean, lezioak kokatzen dira. Bigarren fasean zehar, bilaketa lokalari esker, sailkapena hobetzen da. Hirugarren fasean, bidea berriro lotzeko estrategia erabiltzen da, soluzio optimoak identifikatzeko. Hiru fase hauek behin eta berriro errepikatuko dira.

3.4.7 Lauzadura algoritmoak

Kingston-ek [27] & [28] lauzadura algoritmo bat erabili zuen, hill-climbing-ekin konbinatuta, bilerak (irakasle-ikasgela) esleitzeko, eta beste algoritmo bat, baliabideak bileretara lotzeko. Bilerak lauzetan kokatzen dira lehenik; gero, lauzak, ordutegira, eta baliabideak bileretara.

3.4.8 Hurbilpen hibridoak

Alvarez-Valdes eta bestek [29], hiru faseko ikuspuntu batetik abiatuta, eskola-ordutegien antolaketa-problema ebatzen saiatzen dira. Lehen fasean, lehentasun-erregelak dituen algoritmo heuristiko paralelo baten bitartez, hasierako ordutegia sortzen da, zein, oro har, bideragarria ez den. Bigarren faseak ohiko tabu-bilaketaren aldaera bat aplikatzen dio

lehenengo fasean sortutako ordutegiari, bideragarria den ordutegi bat lortzeko intentzioarekin. Hirugarren fasean, bigarren fasean garatu den ordutegi bideragarriaren kalitatea hobetzen da. Floyd-Warshall-en algoritmoa erabiliz, grafo-teoriaren estrategia hartzen da. Estrategia hori ausaz sortutako problemetan frogatu zen, eta Espainiako 14 eskoletan aplikatu zen.

Bestalde, De Haan eta bestek [30] lau faseko estrategia bati jarraitu zioten problema-mota hau ebazteko. Aurreprozesu bat gauzatzen da ekintzak multzokatzeko, adarkatze-eta bornatze-algoritmo bati esker. Bigarren eta hirugarren faseak ordutegi bideragarriak eraikitzean kontzentratzen dira. Zehatzagoak izateko, bigarren fasean, eta lezioak eguneko denbora-tarteetan kokatzen dira, lehenetsun-erregela dinamikoko bat erabiliz. Erabilgarritasun egoera gutxien duen taldea lehen kokatuko da. Horrek antolatu gabeko lezioetara eramaten badu, heuristikokoaren balioa birkalkulatu behar da. Hirugarren fasean, eguneko denbora-tarteak problemaren denbora-tarteetara esleitzen dira. Horretarako, grafoen koloreztatzea hartzen da. Laugarren faseak tabu-bilaketa erabiltzen du ordutegi bideragarriak hobetzeko. Sistema hori arrakastaz aplikatu zen Herbehereak herrialdeko eskoletan.

Schaerf-ek [31] hasierako ordutegia eraikitzen du erabilitako metodoak beharren matrizean oinarritutako ausazko irakasle-ikasgela esleipena eginez. RNA (Randomized Non-Ascendant) bilaketa aplikatzen da gero, hasierako ordutegia hobetzeko, hobekuntza gehiago egin ezin den arte. Puntu horretan, tabu-bilaketa sartzen da, hobekuntza gehiago ez dagoen arte. RNA- eta tabu-faseak sekuentzialki errepikatzen dira, ordutegiaren kalitateak hobera egin ezin duen arte. Sistema hibrido hori ordutegiaren problema-mota hauek ebazteko erabili ziren Italiako bi eskoletan.

4. KAPITULUA

***Axular Lizeoa* ikastolarako ordutegi-antolakuntza automatikoa**

Kapitulu honetan, formalizazioa aztertu ondoren, gure problemari ebazpen-metodo bat emango diogu.

4.1 Testuingurua

Gaur egun, *Axular Lizeoa* ikastolako eskolaz kanpoko ekintza guztiak eskuz antolatzen dira. Hots, pertsona bat arduratzen da ekintza horien guztien ordutegiak egiteaz, ikasleen, irakasleen eta gelen informazioa aurrean duelarik. Eskolaz kanpoko ekintzen ordutegia antolatzea ataza konplexua da eta, sarreran aipa bezala, hiru ataletan banatuko genuke:

1. Ekintzak eta taldeak definitu. Lehenengo pauso hau adituak egingo du. Ikastolak dituen baliabide guztiak (irakasleak, ikasleak, gelak, materiala eta abar) kontuan izanik, ekintzak finkatuko ditu, baita bakoitzean egongo diren taldeak ere.
2. Definitutako ekintzen eta taldeen lezioak, irakasleak eta tokiak definitu. Gero, ekintza eta taldeen zehaztapenak finkatu beharko dira. Hau ere adituak egingo du, berak baitu honen guztiaren kontrola. Hori guztia finkaturik, gure programaren txanda izango da. Informazio horretaz baliatuz, hurrengo atala burutu beharko du automatikoki.

3. Ordutegia lortu. Aurretik adituak finkatutako datuak tratatuz, ekintza-taldeen ordutegiak antolatu beharko ditu programak, soluzio bideragarri bat lortuz.

Taldeen sorkuntza eta hauen arteko talkak dira ordutegien antolaketa eskuz egiteko arrazoi nagusiak. Aurrerago, zehatzago aztertuko dugu talken arazoa. Hala eta guztiz ere, problema hori automatizatzea posible ikusten dugunez, hori egitea erabaki da.

Eskolaz kanpoko ekintzen ordutegien antolaketa automatizatzea izango dugu xede, eta horretarako, aurretik ordutegi horiek burutzen zituen arduradunaren helburu eta irizpide nagusiak ezagutu beharko ditugu. *Axular Lizeoa* ikastolak ekintzak eskaintzean, ikasleei dagokien mailarentzat dauden edozein ekintzan izen emateko aukera eman nahi dute, eguerdiko denbora-tartea betetzeko. Baina, eguerdietan ez dago horrenbeste denbora, eta ikastolak eskaintzen dituen ekintzak hainbat dira. Hortaz, horiek ongi antolatzea ez da ataza erraza. Horretaz gain, ikasleek ekintza bat baino gehiagoan parte hartzeko aukera izanik, hauen ordutegiak ezberdinak izan beharko direla logikoa dirudi. Hau da, ikasleak dituen bi (edo gehiago) ekintza horiek ezin dute talkarik egin. Hala ere, eskaintzen diren eskolaz kanpoko ekintzen artean, batzuek ordutegi finkatua dute. Beraz, horien gainean egin beharko dugu lan, horiek oinarritzat erabiliz. Arazo horiek guztiak alde batera utzita, ikasleak ahalik eta ekintza gehienetan parte hartzea suspertu nahi da, eta horretarako, ekintza horien ordutegiak era egokian antolaturik egon beharko dute.

Aurkezten den problema honetan sakonduz, ikastolak dituen datuak izan beharko ditugu kontuan, gero ebazpen-metodo egokia erabiltzeko. Ikastolak baliatu gaituen datu basea ikasleen eskaerak izango dira:

- Eskaerak: Ekintza hauek ikasturtearekin batera egiten diren arren, aurreko ikasturtearen amaieran, ikasleei aurreleipen bat egitea eskatzen zaie. Bertan lortuko dugun informazioa ez da behin betikoa izango, baina hurbilpen bat egiteko balio du. Hemen gordetzen den informazioa zehatza da: ikaslearen identifikatzailea (IkasleaKey), generoa (Sexua), ikasturtea (Ikasturtea), mailaren identifikatzailea (MailaKey), mailaren laburdura (Maila laburdura), kurtsoa (Kurtso), taldea (Taldea), hezkuntzaren identifikatzailea (MailaKey), hezkuntza eta mailaren izena (Maila1), eta aukeratutako ekintza (Gaia1). Egitura horren ulerpena errazteko intentzioarekin, [4.1](#) taula izango dugu.

Horretaz gain, ikastolako arduradunak zenbait kontzeptu ditu. Eskolaz kanpoko ekintza-taldeak bikoizten ditu gatazkarik egon ez dadin, baina, arazo horri konponbidea aurkituko

IkasleaKey	4906
Sexua	"E"
Ikasturtea	2015
Mailakeykurtso	36
Maila laburdura	"LH"
Kurtso	2
Taldea	"B"
MailaKey	61
Maila1	"AK LEHEN HEZKUNTZA 1-6"
Gaia1	"Eukal Dantza"

4.1 Taula: Ikasleen eskaerak gordetzen dituen taula.

diogula espero dugu. Gazteen ordutegia, haur hezkuntzako ikasleen ordutegia, egiterakoan, hauek lehenengo jaten dutela ziurtatu nahi dute. Beraz, hauen ekintzak eguneko lehen denbora-tartean ez ipintzen saiatzen dira.

Beraz, proiektu honetan, aipatutakoa abiapuntutzat, arduradunak buruan duen guztia automatizatzen saiatzea izango dugu helburu. Baina, lehenago, hori nola egingo dugun zehaztu beharko dugu. Horretarako, hurrengo ataletan ikusiko ditugu heziketa-ordutegien definitzio eta zehaztapen gehiago.

4.1.1 Heziketa-ordutegien antolaketa-problemen azterketa

Aurreko kapituluan ikusitakoa kontuan izanik, ordutegien antolaketa-problema ebazteko metodoak nola planteatu ikas dezakegu. Horietan guztietan aldagaiak eta murrizketak nola definitzen diren, baita zein helburu-funtzio optimizatzen duten ere, baliagarriak izango dira guri aurkezten zaigun problema ebazteko.

Hasteko, azterketa-ordutegien antolaketa baztertuko dugu. Nahiz eta ebazpen-metodo bideragarria izan, ikastaro-ordutegien antolaketan antzeko prozedura ematen da. Eta zerbait behar izanez gero, azken horretatik hartuko genuke.

Ondoren, ikastaro-ordutegien antolaketan, ikasleen gainjartzeak aztertzen direnez, hori erreferentziatzen izan dezakegula uste dugu. Hala ere, gure aurrean eskuragarri izango ditugun baliabideak kontuan hartu beharko ditugu. Izan ere, heziketa-ordutegien antolaketa-problema hauetan, guk baliagarri ez ditugun baliabideak erabiltzen dira. Esate baterako, gatazka-matrizea (Q_{qxq}) edo ikasmailako lezio bat denbora-tarte batean izateko nahia (d_{ik}) ez ditugu eskura.

4.1.2 Ondorioak

Oro har, aurreko kapituluan ikusitako ebazpen-metodoak bideragarriak direla esan daiteke, eta, gure kasurako, orain arte ikusitako metodo guztiak kontuan izatea komeni da. Horietatik guztietatik eta eskuragarri ditugun baliabideak kontuan izanik, proposamen egoki batera iritsi beharko gara.

Baliabideak murriztuak direla uste dugunez, ekintzen eta hauen taldeen inguruko informazioa emateko era aurkitu beharko dugu. Horretaz gain, ekintzen artean gainjartzeak sortzen direnez, hainbat baldintza bete beharko dituzte ekintzek. Baldintzen inguruan hitz egitean, murrizketa hitza etortzen zaigu burura, aurretik aztertutako ebazpen-metodoetan maiz azaltzen den terminoa. Hortaz, agerikoa dirudi horren inguruko prozedura bati jarraitu beharko diogula. Gainera, gatazkak minimizatzea dugu xede, eta hori helburu-funtzio terminoarekin lotu dezakegu. Murrizketa eta helburu-funtzio terminoekin, eredu lineal baten sorkuntza egitea aukera bat da, hurbilketa bat heuristikoen hasi aurretik. Hainbat eredu-mota egon arren, eredu lineala eraikitzea nahikoa dela uste dugu. Hala ere, honek murriztapenak jarriko dizkigu helburu-funtzioa sortzeko garaian.

Horrela, heziketa-ordutegi-antolaketa-problema zehatzak azterturik, hurrengo kapituluan gure ebazpen-metodo propioa emango dugu, gure kasuko baliabideak kontuan izanik. Esan bezala, programazio lineala erabiliko dugu, eta horren ulermena errazteko, ikasturte honetako egoera izango dugu oinarri. Hots, 2015-2016 ikasturtean eskaintzen diren ekintzak hartuko dira, eta soluzio posibleak bilatuko ditugu.

4.2 *Axular Lizeoa* ikastolarako ordutegi-antolakuntza automatikoaren formalizazioa

Gure problema eredu lineal moduan eraikitzea erabaki dugu. Algoritmoen sorkuntza ataza pisutsua izan daitekenez, metodo hau egokia dela uste dugu. Horien inguruko azalpenak ikastolak ikasturte honetan zuen datu basea kontuan izanik egingo dira, eta soluzioa ere, urte honetako egoerari emango zaio. Hala ere, sistemak aldaketak egitea ahalbidetuko du, hots, malgutasuna izango du sarrera datuetan, eta soluzioa emango du, betiere, problema bideragarria izaten jarraitzen badu.

Eredu lineal bat sortzean, murrizketetan eta helburu-funtzioan pentsatu beharko dugu, ondoren, programak berak emaitza aurkitzeko esperantzarekin. Murrizketez eta helburu-

funtzioaz gain, lehenik, erabaki-aldagaiak definitu beharko ditugu. Hurrengo azpiataletan ikus ahalko ditugu aipaturako hiru puntu hauek.

4.2.1 Erabaki-aldagaiak

Gure eredu linealean, denbora-tarteak izango dira erabaki-aldagaiak. Eskolaz kanpoko ekintzak izango ditugu, eta ekintza-talde bakoitzerako hamabost erabaki-aldagai izango ditugu.

Ekintzak $[1 - m]$ tartean, ekintza-taldeak $[1 - t_i]$ (non $t =$ talde-kopurua) tartean, eta denbora-tarteak, $[1 - p]$ tartean (gure kasuan, p aldagaiak 15 balio du, 5 egun x 3 tar-te egunero. Ikus 4.2 taula) egonik, ordutegiaren esleipena honela adieraz dezakegu:

- Ekintzak: $i = 1..m$
- Ekintza-taldeak: $j = 1..t_i$
- Ekintza-talde bakoitzeko denbora-tarteak: $k = 1..p$ (non $p = 15$)

$$x_{ijk} \quad (i = 1..m; j = 1..t_i; k = 1..p)$$

Astlehena	Asteartea	Asteazkena	Osteguna	Ostirala
1	4	7	10	13
2	5	8	11	14
3	6	9	12	15

4.2 Taula: Eskolaz kanpoko ekintzek dituzten denbora-tarteak.

Eskolaz kanpoko ekintza bat hartuz gero, esate baterako, antzerkia, honakoa gertatuko litzateke: definitzen dugun ekintza bakarra bada, eta honek hiru talde baditu, 45 erabaki-aldagai izango ditugu. Hau da, talde bakoitzerako 15, lehen esan bezala. [1-15] erabaki-aldagaiak antzerkiaren lehenengo talderako izango dira. [16-30], aldiz, antzerkiaren bigarren talderako, eta, azkenik, [31-45] antzerkiaren hirugarren talderako. Baina, hamabosteko multzo guztiek funtzio bera izango dute: ekintza asteroko ordutegian kokatzea. Beraz, 1, 16 eta 31 posizioan dauden aldagaiek, dagokien ekintza-taldea asteleheneko lehenengo denbora-tartean jartzea ala ez determinatuko dute. Hori egin ahal izateko, erabaki-aldagaiek har ditzaketen balioak definitu beharko dira. Kasu honetan, baiezkoa edo ezez-

koa soilik zehazten dutenez, bitartzat hartuko ditugu. Erabaki-aldagaiak har ditzaketen balioak honakoak izango dira, eta hurrengo esanahia hartuko dute:

- Zero (0): aldagaiaren posizioak adierazten duen denbora-tartean, dagokion eskolaz kanpoko ekintza-taldeak klaserik edo leziorik ez du.
- Bat (1): aurrekoaren kontrakoa izango da; aldagaiaren posizioak adierazten duen denbora-tartean, dagokion eskolaz kanpoko ekintza-taldeak klasea edo lezioa du.

Ondorioz, batekoak baiezkoa adieraziko dute, eta zeroak, ezezkoa. Ekintza bakoitzak klase- edo lezio-kopuru jakin bat izango du astean, gela jakin batean burutuko dira eta irakasle jakin batekin. Datu horiek guztiak adituak definitzen ditu, eta puntu horretan hasiko da gure programaren eginbeharra. Hots, adituak berak erabakitzen ditu ekintza-taldeak, lezio-kopuruak eta tokiak. Gure programak sarreratzat hartuko du hori guztia, beste datu batzuekin batera.

Ekintza	Talde-kopurua	Lezio-kopurua astean	Tokia
Antzerkia	7	2	1
Euskal dantza	7	2	2
Gimnasia Dibertigarria	1	2	3
Gimnasia Erritmikoa	3	2	3
Hip Hop	1	2	3
Ipuin kontalaria	1	1	4
Haurrak Beti Jolasean	2	3	5

4.3 Taula: Sistemari sartu beharreko eskolaz kanpoko ekintzen datuak.

Horretaz gain, ekintzen taldeak nola osatu nahi ditugun ere hala nola esan beharko diogu. Aipatutakoa lortzeko, beste fitxategi batean zehaztuko ditugu ekintza bakoitzaren taldeek zein mailako ikasleak hartzen dituen. Fitxategi horrek ere, matrize itxura izango du, eta taula baten bidez adieraz dezakegu. 4.4 taulan ikus dezakegu. Bertan, ekintza-talde adina lerro izango ditugu. Lehenik, taldea zein ekintzari dagokion adierazi beharko da. Gero, hezkuntza (Haur Hezkuntza, Lehen Hezkuntza edo Derrigorrezko Bigarren Hezkuntza), laburdura erabiliz. Eta azkenik, dagokion hezkuntzaren zein maila. Bat eta lau maila artean sar ditzakegu. Eta bakarra sartu nahi badugu, hirugarren zutabearen jarri beharko dugu, ez besteetan; besteak, zero balioa izango dute. Fitxategi hau aurrekoarekin bat etorri beharko du, hots, ekintza orden berean egongo dira, eta talde-kopuruak berdinak izan beharko dira.

Ekintza	Hezkuntza	Maila1	Maila2	Maila3	Maila4
Antzerkia	LH	1	0	0	0
Antzerkia	LH	2	0	0	0
Antzerkia	LH	3	0	0	0
Antzerkia	LH	4	0	0	0
Antzerkia	LH	5	0	0	0
Antzerkia	LH	6	0	0	0
Antzerkia	DBH	1	2	3	4
Euskal dantza	HH	5	0	0	0
Euskal dantza	LH	1	0	0	0
Euskal dantza	LH	2	0	0	0
Euskal dantza	LH	3	0	0	0
Euskal dantza	LH	4	0	0	0
Euskal dantza	LH	5	6	0	0
Euskal dantza	DBH	1	2	3	4
Gimnasia Dibertigarria	HH	4	5	0	0
Gimnasia Erritmikoa	LH	1	2	0	0
Gimnasia Erritmikoa	LH	3	4	0	0
Gimnasia Erritmikoa	LH	5	6	0	0
Hip Hop	LH	3	4	5	6
Ipuin kontalaria	HH	4	5	0	0
Haurrak Beti Jolasean	HH	4	0	0	0
Haurrak Beti Jolasean	HH	5	0	0	0

4.4 Taula: Sistemari sartu beharreko eskolaz kanpoko ekintza-taldeen datuak

Horrela, datu horiekin guztiekin, modu honetara izango ditugu ekintza-taldeen erabaki-aldagaiak:

- **Antzerkia:** 7 talde ditugu, Lehen Hezkuntzatik aurrerako guztiek egin ahal dute. Beraz, ikasle asko biltzen ditu, eta ondorioz, talde ugari ditu. Hauek dira talde baikoitzaren erabaki-aldagaien posizioak:
 - 1. taldea: x_{11k} ($k = 1..p$)
 - 2. taldea: x_{12k} ($k = 1..p$)
 - 3. taldea: x_{13k} ($k = 1..p$)
 - 4. taldea: x_{14k} ($k = 1..p$)
 - 5. taldea: x_{15k} ($k = 1..p$)
 - 6. taldea: x_{16k} ($k = 1..p$)

- 7. taldea: x_{17k} ($k = 1..p$)
- **Euskal dantza:** Honetan ere 7 talde egongo dira, ia guztiek egin ahal baitute. Antzerkiak ez bezala, honetan Haur Hezkuntzako 5. mailakoek ere parte har dezakete.
 - 1. taldea: x_{21k} ($k = 1..p$)
 - 2. taldea: x_{22k} ($k = 1..p$)
 - 3. taldea: x_{23k} ($k = 1..p$)
 - 4. taldea: x_{24k} ($k = 1..p$)
 - 5. taldea: x_{25k} ($k = 1..p$)
 - 6. taldea: x_{26k} ($k = 1..p$)
 - 7. taldea: x_{27k} ($k = 1..p$)
- **Gimnasia Dibertigarria:** Ekintza hau Haur Hezkuntzako ikasleek soilik egiten dute, eta, oro har, talde bakarra sortzen da. Talde-kopurua adituak finkatzen du, ikasleen eskaerak ikusi ondoren eta beste irizpide batzuk kontutan izanik (ikasle-kopuru maximoa ekintza-talde bakoitzeko, kanpoko irakasleen erabilgarritasuna eta abar.). Kasu berbera da hurrengo ekintzetan gertatzen dena.
 - 1. taldea: x_{31k} ($k = 1..p$)
- **Gimnasia Erritmikoa:** Ekintza honetan ikasle gutxiago sartzen da, eta arrazoi horregatik, talde gutxiago egiten dira; 3 talde, eta posizioak honakoak:
 - 1. taldea: x_{41k} ($k = 1..p$)
 - 2. taldea: x_{42k} ($k = 1..p$)
 - 3. taldea: x_{43k} ($k = 1..p$)
- **Hip Hop:** Kasu honetan talde bakarra egongo da, nahiz eta Lehen Hezkuntzako guztiek aukeratu ahal duten.
 - 1. taldea: x_{51k} ($k = 1..p$)
- **Ipuin kontalaria:** Aurrekoa ez da talde bat duen bakarra izango. Ekintza hau Haur Hezkuntzan egiten da eta denok batera egiten dute asteen behin.
 - 1. taldea: x_{61k} ($k = 1..p$)

- **Haurrak Beti Jolasean (HBJ)**: Azkeneko ekintza hau Haur Hezkuntzakoek soilik egiten dute, beraz, normala da talde gutxi egotea.
 - 1. taldea: x_{71k} ($k = 1..p$)
 - 2. taldea: x_{72k} ($k = 1..p$)

Honekin guztiarekin, guztira 330 erabaki-aldagai izango ditugu. Ondoren, horien balioa zehazteko, murrizketak gehituko ditugu, edo beste era batean esanda, ekintzek bete beharreko baldintzak. Baina, hauek ez dira eskaintzen diren ekintza guztiak. Judo, xake eta kirola ekintzak ere eskaintzen dira, baina ezaugarri desberdinak dituzte.

- Judo: Arratsaldean egiten da, eta ez dugu ordutegi hori antolatu beharko.
- Xake: Bigarrenegun, xakek bi egun hartuko ditu, baina, ordutegi ezberdin batekin. Behin ordutegi finkaturik dugula, ikasleek libre izango dituzten tarteetan, xakera joan ahal izateko aukera izango dutela espero da.
- Kirola: Azkenik, kirolak bere ordutegi finkaturik izango du. Lehen Hezkuntzako 5. eta 6. mailakoek soilik egiten dute, eta sexuen arabera banatzen dira taldeak. Horretaz gain, astean bi eguerdi oso hartzen ditu kirolak. Hau da, aurreko ikasturtean, Lehen Hezkuntzako mutilek astearte eta ostegunetan, eguerdi osoan zehar, izaten zuten kirola. Beste aldetik, maila bereko neskek asteazken eta ostiraletan, eguerdi osoan zehar ere, egiten zuten ekintza hori. Beraz, ekintza honek izugarriko murriztapenak jarriko dizkigu. Hala ere, lehenago aipatutako ekintza-taldeen eta kirolaren arteko gatazkak minimizatzen saiatuko gara. Hori egiteko, kirolaren bi taldeen denbora-tarteak zein diren esan beharko diogu sistemari, 4.2 taulan ikusitako formatuari erreparatu. Aurreko ikasturteko kirol taldeen informazioa 4.5 taulan bezala eman beharko dugu.

4.2.2 Murrizketak

Murrizketak erabaki-aldagaiak bete beharreko baldintzak izango dira. Atal hau funtsezkoa da, ebazpena posible egiten duen puntua baita. Baliteke murrizketa gehiegi gehitzea eta eredia bideraezina egitea, baina, hasiera batean, hori gertatzea ez dugu espero.

Eredu lineal honetan gehituko ditugun murrizketak hiru multzotan bana ditzakegu: lezio-kopuruen murrizketak, gelekien eta irakasleekin erlazionaturako murrizketak eta gatazken

Kirola-mutilak	Kirola-neskak
4	7
5	8
6	9
10	13
11	14
12	15

4.5 Taula: Kirola-ekintzaren taldeen ordutegien datuak.

araberako murrizketak. Horien barnean azpimultzo gehiago egongo dira, baina aurrerago azalduko dira.

Lezio-kopuruen murrizketak

Ikastolak eskaintzen dituen eskolaz kanpoko ekintza bakoitzak klase- edo lezio-kopuru jakin bat izango dute asteen; gure adierazpenean, zenbat denbora-tarte bete beharko dituzten i bakoitzerako. Oro har, ekintzek bi lezio dituzte, baina, informazio hori lehenago ikusitako 4.3 taulan jasoko da. Hortaz, ekintzek murrizketa desberdinak izango dituzte, asteen dituzten lezio-kopuruen arabera.

Erabaki-aldagaiak definitzeko erabilitako adierazpenari jarraituta, honela izango dira murrizketa horiek:

$$\forall i, j \sum_{k=1}^p x_{ijk} = l_i \quad (i = 1..m; j = 1..t_i)$$

non l aldagaiak, dagokion ekintzaren asteroko lezio-kopurua adieraziko duen.

Esate baterako, 4.3 taulako antzerki ekintza hartzen badugu, honela izango dira honen murrizketak ($i = 1$ izango delarik):

$$\forall j \sum_{k=1}^p x_{1jk} = 2 \quad (j = 1..7; k = 1..p)$$

Horretaz gain, egunero hiru denbora-tarte izanik, egun berdinean lezio bat baino gehiago sartzeko aukera dago, eta hasiera batean ez da hori nahi. Beraz, beste murrizketa-multzo bat defini dezakegu hemen. Murrizketa-mota honi "egunean gehienez lezio bat izateko aukera" dei diezaiokegu. Astelehenean gehienez lezio bat izateko, honela adieraz dezakegu:

$$\forall i, j \sum_{k=1}^3 x_{ijk} \leq 1 \quad (i = 1..m; j = 1..t_i)$$

Eta adierazpen horretan, gure kasuan, egun-kopurua bost izango da, eta eguneroko tarte-kopurua hiru (egunean dauden denbora-tarteak).

Gelekin eta irakasleekin erlazionatutako murrizketak

Bestalde, ikastolak instalazio jakin batzuk ditu, eta horien erabilgarritasuna kontuan izan beharko dugu. Hala ere, aurkezten zaigun kasu erreal honetan, ekintza gehienek bere gela edo tokia dute, gimnasia (dibertigarria eta erritmikoa) eta Hip Hop izan ezik. Azken hauek gimnasioa konpartitzen dute. Irakasleekin ez da horrela gertatzen, ekintza bakoitzak bere irakaslea du.

Ondorioz, lehenik, ekintza bereko taldeen artean, murrizketak izango ditugu. Hau da, ekintza baten talde bakarra egon ahalko da denbora-tarte jakin batean. Esate baterako, antzerkian zazpi talde ditugu. Eta horren lehenengo taldeak, lehenengo denbora-tartean lezioa badu, beste antzerki-taldeek ezin izango dute antzerkirik izan momentu horretan. Murrizketa-multzo hau gela eta irakasleengatik sortzen da, eta honela adieraziko genuke:

$$\forall j \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^p x_{ijk} \leq 1 \quad (j = 1..t_i)$$

Hala eta guztiz ere, aipatutako multzo horrekin ez da nahikoa. Esan bezala, gimnasia (dibertigarria eta erritmikoa) eta Hip Hop toki berean burutzen dira, gimnasioan. Hortaz, hauek beste murrizketa-multzo gehigarri bat izango dute:

$$\forall k \sum_{j=1}^{t_3} x_{3jk} + \sum_{j=1}^{t_4} x_{4jk} + \sum_{j=1}^{t_5} x_{5jk} \leq 1 \quad (j = 1..t_i; k = 1..p)$$

non $i = 3$ gimnasia dibertigarria adieraziko duen, $i = 4$, gimnasia erritmikoa, eta, $i = 5$, Hip Hop.

Gatazken araberako murrizketak

Azken multzotzat gatazken inguruko murrizketak izango ditugu. Ekintza-taldeen artean ikasle berberak egon daitezke, eta ondorioz, gatazka sortu. Hori ekiditeko asmoz, murriz-

keta mota hau gehituko dugu.

Nahiz eta ikasleen eskaera guztiak daudela esan, kirola ere ekintza bat da, eta ez dago horren eskaerarik. Kirola Lehen Hezkuntzako 5. eta 6. mailek parte har dezaketen ekintza da, mutilen eta nesken artean banaturik, eta eguerdi osoa hartzen du lezio bakoitzak. Hau da, LH5 eta LH6ko neskek bi egun izango dituzte, eta maila bereko mutilek, beste bi. Kasu honetan, mutilek astearteak eta ostegunak izango dituzte, eta neskek, asteazkenak eta ostiralak. Beraz, hemen parte hartzen duten ikasleen identifikatzailerik gabe, 4.2.1 atalean azaldu bezala sartuko ditugu datuak.

Baina, kirola bezalako ekintza batek denbora-tarteak izugarri murrizten ditu. Izan ere, ikasle batek kirola, antzerkia eta euskal dantza aukeratzen baditu, ezingo du hiruetara joan, eguerdi denbora-tarteak soilik egonik. Hala ere, gure helburua ezintasun horiek minimizatzea da, eta egokia baderitzo, ikastolako arduradunak ekintza batzuk arratsaldeko txandara pasako ditu. Konponbide posible hori alde batera utziz, guk eguerdiko denbora-tarteak erabiliko ditugu, ahalik eta ikasle gehien ahalik eta ekintza gehien egin ahal izateko.

Horrela, Lehen Hezkuntzako 5. eta 6. mailetan dagoen ekintza-kopuru handiei irteera emango diogu. Ikastolak emandako datu basea erabiliz, ikasleen sexua jakin ahalko dugu. Informazio horrekin, LH5 eta LH6 mailetako ekintza-taldeetan zein nagusitzen den aztertuko dugu. Ondoren, nagusitzen den sexuaren kirol egunekin ez gainjartzea ziurtatuko dugu. Esate baterako, 2015-2016 ikasturtean, LH5 eta LH6 mailetan, neskek soilik aukeratu zuten gimnasia erritmikoa. Hortaz, talde horretan garbi geratzen da, gimnasia erritmikoa ez dela asteazken eta ostiraletan izango. Aldiz, beste ekintza batzuetan, neska-eta mutil-kopuruak parekoak dira. Horietan guztietan lehen aipatutako prozedura jarraituko da, gatazka-kopurua minimizatu nahi da eta.

4.2.3 Helburu-funtzioa

Hasiera batean, problemaren murrizketak soilik hartu genituen kontuan. Azken finean, erabilitako ebazpen-metodo honek soluzio bideragarria lortzen baitu helburu-funtziorik izan ez arren. 4.6 taulan ikus daiteke metodo honek eman ditzakeen erantzun kodeak. Erabilitako ebazpen-metodoa programazio lineala izango da.

Hala eta guztiz ere, sinplea izan arren, helburu-funtzio bat gehitzea agerikoa da. Gatazken inguruan gehitutako murrizketek problema bideraezina egin dezakete, baina ezin dugu helburu-funtziotzat erabili. Gatazken minimizatzea helburu-funtziotzat hartuz gero, eredu

lineala izateari utziko lioke. Kasu horretan, erabaki-aldagaien biderketak egin beharko lirateke, eredu kuadratikoa osatuz.

Gatozen harira, helburu-funtzioan, ikastolako arduradunaren beste lehentasun bat erabili dugu: gazteenak lehenago bazkaltzea. Beste era batean, eguneko lehen denbora-tarteetan, ahal bada, gazteek ekintzarik ez izatea, denbora-tarte hori bazkaltzeko erabiliz.

$$\min \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{\text{talde_kopuru}_i} \sum_{k=1}^p d_{ijk} \cdot x_{ijk}$$

Helburu-funtzio hau definitzeak ez du problemik sortzen ekintza-taldeetan, baina bai ekuzio denboran. Gure helburu-funtzioak soluzio optimo bat baino gehiago izan ahalko du, eta horren ondorioz, martxan jarraitzen du, optimo bakarra aurkitu arte. Une honetan, denbora-mugen kontzeptua sartzen da. Optimoa lortzea konputazionalki garestiagoa da, soluzio bideragarri bat bilatzea baino.

4.3 Inplementazioa

Era formalean azaldutako aldagaiak, murrizketak eta helburu-funtzioa gure programan nola tratatzen diren ikusiko dugu. Nagusiki, gure eredu eraikitze, murrizketak nola gehitzen diren azalduko dugu. Hau da, zein irizpide hartzen dituen sistemak murrizketamota desberdinak gehitzeko garaian.

Hala ere, lehenik eta behin, eredu lineal hori ebazteko erabiliko dugun softwarea ikusi beharko dugu.

4.3.1 Programazio lineala R-n ebazten

Programazio lineala oinarri duten ereduak ebazteko hainbat erabilpen daude baliagarri. Horien zerrenda hurrengo estekan aurki daiteke: <http://bit.ly/1zkJpVw>. Ebazteko aplikazio horietako batzuk optimizazio programetan barneratuak izan daitezke. Aplikazio horietako batzuk ere C liburutegi bezala idatziak daude, eta R paketeetan ere inplementaturik daude. Hurrengo paketeak interesgarriak dira R erabiltzaileentzat:

- **lpSolve** eta **lpSolveAPI** paketeen bitartez inplementaturik dago **lp_solve**.
- **Rglpk** paketearen bitartez inplementaturik dago **GLPK**.

- Eta **Rsymphony**-ren bitartez, SYMPHONY dugu implementaturik.

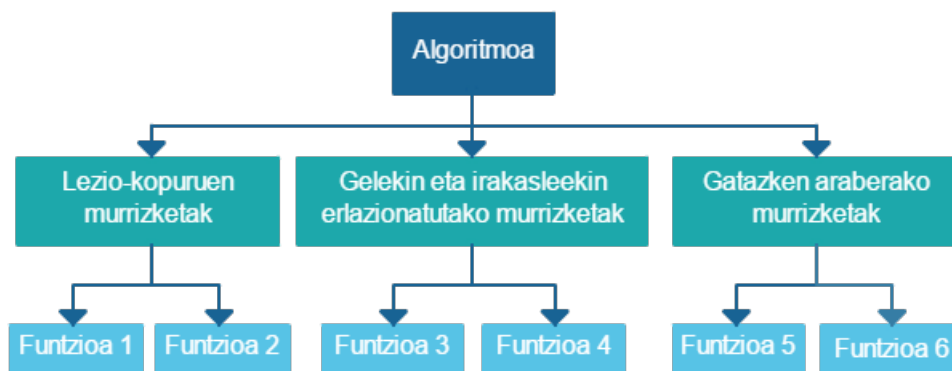
Ebazteko aplikazio guzti hauek funtziotzat implementaturik daude R-n, eta parametroak R-matrize edo -bektore moduan pasa daitezke. Gainera, ereduak fitxategietatik irakurtzeko aukera ere ahalbidetzen dute funtzio hauek, era estandarrean idatzirik; hala nola, CPLEX, MPS edo AMPL/MathProg.

Eredu linealak ebazteko R pakete gehiengoak honako sarrera-datuak behar ditu:

- Karaktere moduko aldagaia, maximizatu edo minimizatu nahi dugun zehazteko.
- Kostu-koefizienteak (c) eta eskuineko balioen (b) bektoreak.
- A koefizienteen matrizea.
- Karaktere moduko bektorea, murrizketen zeinuekin.

4.3.2 Eredu lineala eraikitzeke funtzioak

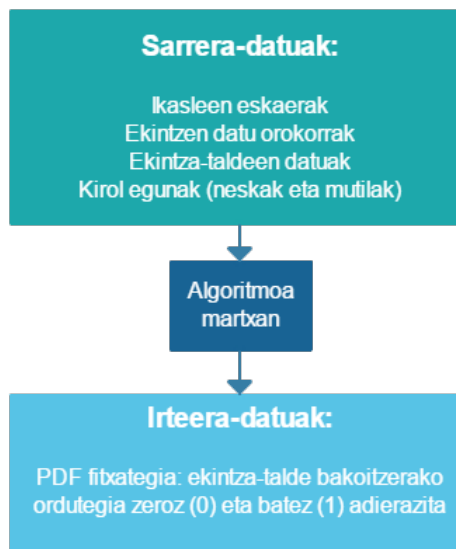
Lehenago, 4.2.2 atalean, murrizketak ikusi ditugu. Atal honetan, horiek eredu linealera gehitzeko irizpideak ikusiko ditugu. Kasu honetan ere, hiru azpimultzotan sailkatuko ditugu: lezio-kopuruen murrizketak, gelek in eta irakasleekin erlazioatutako murrizketak eta gatazken araberrako murrizketak. Eta horietako bakoitzak bere funtzioak izango dituzte, 4.1 irudian ikus dezakegun bezala, gure algoritmoa osatuz.



4.1 Irudia: Algoritmoa osatzen duten funtzioen eskema.

Horretaz gain, sistemak orokorrean duen funtzionamendua argiago ikusteko 4.2 irudia izango dugu. Bertan, sarrera-datuak eta irteera-datuak zein diren ikus ahalko dugu. Sarre-ratzat, aurretik azal dutako zenbait taulek duten informazioa izango dugu:

- Ikasleen eskaerak: 4.1 taulan antzera, eskolaz kanpoko ekintzak egin nahi dituzten ikasle guztien eskaerak, *csv* fitxategi batean.
- Ekintzen datu orokorrak: ekintza bakoitzeko, lerro bakoitzean, 4.3 taulako datuak (edo aldaerak), puntu eta komaz (;) bananduak, *csv* fitxategi batean.
- Ekintza-taldeen datuak: 4.4 taulan antzera, lerro bakoitzean, ekintza-talde bakoitzaren datuak, puntu eta komaz (;) bananduak, *csv* fitxategi batean.
- Kirol egunak (neskak eta mutilak): Zutabe bakoitzean sexu bakoitzeko egunak, 4.5 taulan bezala. Datuak, puntu eta komaz (;) bananduak, *csv* fitxategi batean.



4.2 Irudia: Sistemaren funtzionamenduaren egitura.

Lezio-kopuruen murrizketak

Ekintza bakoitzeko talde bakoitzak dagozkien lezio-kopuruak dituela bermatzeko murrizketa dugu hau. Murrizketa hori honela adieraz dezakegu ere, 1 funtzioan.

Esan bezala, ekintza bakoitzerako eta horietako talde bakoitzerako murrizketak gehitu beharko ditugu. 15 luzerako tartek aztertu beharko ditugu, ekintza-taldeen denbora-tartek hartzen dituztenak.

Funtzioa 1 Ekintza bakoitzaren lezio-kopurua astean murrizteko

```

1: for i = 1 .. m (m = ekintza-kopurua) do
2:   lezio_kopuru = i ekintzak astean duen lezio-kopurua
3:   for j = 1 .. talde_kopurui do
4:     Erabaki-aldagaien bektorea zerora hasieratu
5:     murrizketa  $\leftarrow$  i ekintzako j taldearen denbora-tarteen batura = lezio_kopurui
6:     Eredu linealean murrizketa gehitu
7:   end for
8: end for

```

Gero, egunero gehienez lezio bat izateko murrizketa gehituko dugu. Kasu honetan, 15 luzerako tarte bakoitzaren barnean, multzo txikiagoak egin beharko ditugu, egun bakoitzari dagozkioenak: [1-3], [4-6], [7-9], [10-12] eta [13-15] tarteetan mugituko gara. Hori egiteko 2 funtzioaren prozedurari jarraituko diogu. Ekintza guztietako talde bakoitzerako, egun-kopuru guztietan gehienez lezio bakarra dagoela ziurtatu beharko dugu. Hots, 4.2 taulako tarteak, orain aipatu ditugun tarteak dira: [1-3], [4-6], [7-9], [10-12] eta [13-15]. Horietako bakoitzerako, ekintza-taldean lezio-kopuruak gehienez bat balioa izan dezake.

Funtzioa 2 Egunean gehienez lezio bat izateko murrizketa

```

1: for i = 1 .. m do
2:   for j = 1 .. talde_kopurui do
3:     for z = 1 .. egun-kopuru do
4:       Erabaki-aldagaien bektorea zerora hasieratu
5:       murrizketa  $\leftarrow$  i ekintzako j taldearen z eguneko denbora-tarteen batura  $\leq$  1
6:       Eredu linealean murrizketa gehitu
7:     end for
8:   end for
9: end for

```

Gelekin eta irakasleekin erlazionatutako murrizketak

Gelen eta irakasleen murrizketa guztiak eredu linealera gehitzeko, 3 eta 4 funtzioen pausoak beteko dira. Lehenengoan, 3 funtzioan, ekintza bakoitzeko taldeekin egiten da lan. Bestean, aldiz, toki berean egiten diren ekintza-taldeekin.

3 funtzioan, denbora-tarte bakoitza aztertu beharko da. Ekintza-talde guztien denbora-tarte berberak harturik, murrizketa gehituko dugu. Horrela, denbora-tarte bakoitzean gehienez ekintza-talde bat dagoela ziurtatuko dugu.

Bestalde, 4 funtzioan, lehenik, toki berean ematen diren ekintzak zein diren jakin beharko

Funtzioa 3 Gela eta irakasle berdina duten ekintza-taldeak aldi berean ez izateko

```

1: for k = 1 .. p (p = denbora-tarte kopurua) do
2:   for i = 1 .. m do
3:     Erabaki-aldagaien bektorea zerora hasieratu
4:     for j = 1 .. talde_kopurui do
5:       denbora_tarteak[ ] = i ekintzako j taldearen k denbora-tartea
6:     end for
7:     murrizketa  $\Leftarrow \sum \textit{denbora\_tarteak} \leq 1$ 
8:     Eredu linealean murrizketa gehitu
9:   end for
10: end for

```

dugu. Horiek lortuta, 3 funtzioko prozedura antzekoa burutuko dugu. Baina, kasu honetan, denbora-tarte bakoitzean, toki berean ematen diren ekintza guztien taldeak hartuko ditugu kontuan, eta bakoitzean, gehienez talde baten lezio bat dagoela ziurtatu beharko dugu.

Funtzioa 4 Toki berean egiten diren ekintzen taldeak aldi berean ez izateko murrizketa

```

1: for k = 1 .. p do
2:   for i = 1 .. m do
3:     Erabaki-aldagaien bektorea zerora hasieratu
4:     for t = 1 .. toki berean diren ekintza-kopurua do
5:       for j = 1 .. talde_kopurui do
6:         denbora_tarteak[ ] = i ekintzako j taldearen k denbora-tartea
7:       end for
8:     end for
9:     murrizketa  $\Leftarrow \sum \textit{denbora\_tarteak} \leq 1$ 
10:    Eredu linealean murrizketa gehitu
11:   end for
12: end for

```

Gatazken araberrako murrizketak

Ikasleak komunean dituzten ekintza-taldeen artean murrizketak gehitzeko honakoa egingo dugu.

Ikasleen eskaerak eta taldeen informazioa zein diren jakinik, hauek multzokatu eta identifikatzaileak lor ditzakegu. Behin gako horiek lorturik, ekintza-taldeen ikasle berak dituzten ikusi beharko dugu. Eta hala bada, murrizketa bat gehitu denbora-tarte bakoitzerako, bi ekintza-talde horiek ordu berean izan ez daitezten. Prozedura hori 5 funtzioan ikus daiteke.

Funtzioa 5 Ikasleak komunean dituzten ekintza-taldeak aldi berean ez izateko

```

1: Ekintza-taldeen ikasleen identifikatzaileak lortu
2: for j1 = 1 .. talde_kopuru_guztira do
3:   for j2 = 1 .. talde_kopuru_guztira do
4:     gatazka = FALSE
5:     for j3 = 1 .. luzera(j1) do
6:       for j4 = 1 .. luzera(j2) do
7:         if ikasleak komunean then
8:           gatazka = TRUE
9:         end if
10:      end for
11:    end for
12:    if gatazka = TRUE then
13:      for k = 1 .. p do
14:        denbora_tarteak[ ] = j3 eta j4 taldeen denbora-tarteak
15:        murrizketa  $\Leftarrow \sum \text{denbora\_tarteak} \leq 1$ 
16:        Eredu linealean murrizketa gehitu
17:      end for
18:    end if
19:  end for
20: end for

```

Funtzioa 6 Kirola ekintzarekin ahalik eta gatazka gutxien izateko murrizketa

```

1: Ekintza-taldeen ikasleen identifikatzaileak lortu
2: for j = 1 .. talde_kopuru_guztira do
3:   if LH5 edo LH6 mailako ekintza-taldea then
4:     neska_kopurua lortu
5:     mutil_kopurua lortu
6:     if neska_kopurua  $\geq$  mutil_kopurua then
7:       denbora_tarteak[ ] = j ekintza-taldeko nesken kirol eguneko denbora-tarteak
8:       murrizketa  $\Leftarrow \sum \text{denbora\_tarteak} = 0$ 
9:       Eredu linealean murrizketa gehitu
10:    else
11:      denbora_tarteak[ ] = j ekintza-taldeko mutil kirol eguneko denbora-tarteak
12:      murrizketa  $\Leftarrow \sum \text{denbora\_tarteak} = 0$ 
13:      Eredu linealean murrizketa gehitu
14:    end if
15:  end if
16: end for

```

4.2.2 atalean, kirolaren inguruan aipatutako guztia dugu, eta 6 funtzioak dituen pausoak beteko du hori burutzeko. Laburbilduz, Lehen Hezkuntzako 5. edo 6. mailako ekintza-taldea bada, taldearen neska- eta mutil-kopuruak aztertuko ditugu. Horien arabera, murrizketa ala beste gehituko dugu. Neska gehiago (edo kopuru berdina) badago, nesken kirol egunean leziorik ez egoteko baldintza gehituko dugu. Ordea, mutil gehiago badago, mutilen kirol egunean leziorik ez egotea esan beharko diogu.

Itzulitakoa	Azalpena
Memoriarik ez (-2)	Memoriarik ez dago
Optimoa (0)	Soluzio optimoa lortu da
Suboptimoa (1)	Soluzioa suboptimoa da
Bideraezina (2)	Eredua bideraezina da
Mugagabea (3)	Eredua mugagabea da
Endekatua (4)	Eredua endekatua da
Zenbakizko urritasuna (5)	Zenbakizko akatsa aurkitu da
Erabiltze-abortua (6)	Etenaldi errutinak TRUE itzuli du
Timeout (7)	Denbora bukatu da
Aurrez ebatzia (9)	Eredua presolve-kin ebatz daiteke
Zenbakizko urritasuna (25)	Doitasun akatsa aurkitu da

4.6 Taula: Eredu linealak itzuli ditzakeen erantzun kodeak.

Helburu-funtzioa

Optimizatu nahi dugun kontzeptua gazteen lezioak dira. Zehatzagoak izateko, Haur Hezkuntzakoek lezioak ahalik eta beranduenen izatea. Horretarako, gazteen ekintza-taldeen eguneko lehen eta bigarren denbora-tarteei balio altuagoak emango dizkiogu, helburua minimizatzea izanik. Gainera, eguneko lehen denbora-tarteei bigarrenek baino balio handiagoa izango dute. Inplikaturako ekintzak ipuin kontalaria, Haurrak Beti Jolasean eta gimnasia dibertigarria dira gure kasuan. Horien guztien lezioak ezingo dira eguneko azken denbora-tarteetan izan, baina, lehentasuna minimizatuz, egunero azken denbora-tarte hori esleituta egongo da. Gero, lezio batzuek eguneko bigarren denbora-tartean izango dute bere lekua. Eta oraindik ere, lezioak esleitu gabe badaude, eguerdiko lehen denbora-tarte batean egongo dira. Hala ere, ikusitako datuekin, azken egoera horretara ez iristea aurreikusten dugu.

Horrela, gure helburu-funtzioa erabaki-aldagai guztien batura izango da, non Haur Hezkuntzako ekintza-taldeen denbora-tarte batzuek, balio handiagoa izango duten.

- Haur Hezkuntzako ekintza-taldea ez bada, zero balioa izango dute aldagaiek.
- Haur Hezkuntzako ekintza-taldea bada:
 - Eguneko lehen denbora-tarteak 2 balioa izango du.
 - Eguneko bigarren denbora-tarteak 1 balioa izango du.
 - Eguneko hirugarren eta azken denbora-tarteak 0 balioa izango du.

5. KAPITULUA

***Axular Lizeoa* ikastolako 2015/2016 ikasturteko ordutegiaren egindako probak**

Kapitulu honetan, aurretik aztertutako formalizazioa kontuan hartuko dugu, software soluzio bat garatuko dugu eta zenbait proba egingo ditugu.

Lehenik, 2015/2016 ikasturtearen ezaugarriak aztertuko ditugu eta, ondoren, eredu sortu eta ebatziko dugu helburu-funtzioarekin, zein helburu-funtziorik gabe. Amaitzeko, ereduari aldaketa batzuk egingo dizkiogu, emaitza nola aldatzen den ikusteko.

5.1 Problemaren ezaugarriak

Eskolaz kanpoko ekintza-taldeak definitu ditugularik, ikastolaren ordutegi orokor bat lortzea da helburua. Eredu linealak honi soluzio bat ematea espero da. Hala ere, ez da eredu lineal konkretu bat bakarrik probatu. Eredu osoa lortzeko, pausoz pauso joan gara murrizketekin eta helburu-funtzioarekin, eta hauen aldaerak hartu dira kontuan. Aurretik, behin baino gehiagotan esan dugun bezala, aurreko ikasturteko egoera izango dugu oinarritzat, eta bertan, [5.1](#) eta [5.2](#) irudietan ikus daitezkeen datuak genituen.

Hasteko, murrizketak aztertuko ditugu. Lezio-kopuruen murrizketak ez dute problemarik sortzen, talde-kopurua eta denbora-tarte kopurua bateragarriak badira. Ordea, antzerkia edo euskal dantza bezalako ekintza bat hartuz gero, eta talde gehiago sortuz, eredu bideraezina bihurtzen dugu, beraien talde-kopuru maximoetan baititugu. Zehazki, antzerki-talde batek bi lezio izango ditu astean, beraz, antzerkian izan ditzakegun talde-kopuru ma-

	Antzerkia	Euskal Dan	Gimnasia	Hip Hop	Ipuin Kont	HBJ	Xake
HH4	0	0	6	0	5	33	0
HH5	0	22	10	0	3	15	0
LH1	18	32	6	0	0	0	21
LH2	25	21	7	0	0	0	17
LH3	29	19	11	5	0	0	15
LH4	32	17	1	6	0	0	16
LH5	25	20	9	15	0	0	12
LH6	11	7	1	4	0	0	10
DBH1	11	17	0	0	0	0	4
DBH2	0	8	0	0	0	0	0
DBH3	0	7	0	0	0	0	0
DBH4	0	2	0	0	0	0	0

5.1 Irudia: Eskera-kopurua ekintza bakoitzeko.

Taldeak	Antzerkia 1	Euskal 1	Gimnasia 1	Hip Hop	Ipuin Kont	HBJ 1	Xake 1
	Antzerkia 2	Euskal 2	Gimnasia 2			HBJ 2	Xake 2
	Antzerkia 3	Euskal 3	Gimnasia 3				
	Antzerkia 4	Euskal 4	Gimnasia 4				
	Antzerkia 5	Euskal 5					
	Antzerkia 6	Euskal 6					
	Antzerkia 7	Euskal 7					

5.2 Irudia: Talde-kopurua ekintza bakoitzeko.

ximoa zazpi izango da. Bestela, gela eta irakaslea partekatu beharko lukete talde batzuek, beharbada, gela batean ikasle gehiegi egonik. Horrela, hori ekiditea aurreikusi dugu, gela eta irakasleen inguruan izango ditugun murrizketek ere, lezio-kopuruen murrizketen antzera, talde-kopurua mugatuko baitute. Ekintza bakoitzerako, honakoa bete beharko da:

$$talde_kopurua_i \cdot lezio_kopurua_i \leq denbora_tarte_kopurua \quad (i = 1..m)$$

Egunero lezio-kopuru bakarria izateko murrizketarekin ez dugu inongo arazorik ikusten. Puntu honetan, gatazka-murrizketak gehitzea ekarri dezake arazoa. Gatazka-murrizketak berak arazoak sortzeaz gain, eguneroko lezio-kopuruan ere eragina izan dezakete. Izan ere, kirola ekintzak eguerdi oso bi hartzen ditu, genero bakoitzerako. Astean, lau eguerdian kirola ematen da. Antzerkian eta euskal dantzan izan ezik, beste ekintzetan, neskak bakarrik ditugu. Hau da, gimnasia erritmikoan eta Hip Hop-ean, LH5 eta LH6 mailako neskak soilik ditugu. Horrela, azken bi ekintza horiek astearte eta ostegunetan (mutilen kirol egunetan) esleitu ahalko ditugu.

Arazo nagusiak ikusi ditugularik, proben emaitzak aztertuko ditugu. Bertan, aurreikusita-

ko arazoak nola kudeatzen diren argiago ikusiko dugu.

5.2 Ebazpena

Helburu-funtzioaren xedea guztiz argi ez dagoenez, bi eratara egingo ditugu probak. Soluzio bideragarriak lortzea izango dugu helburu.

5.2.1 Helburu-funtziorik gabe

Hasteko, soluzio bideragarriak lortzen ditugula ikusi beharko dugu. Horretarako, murrizketak gehituz bakarrik ebatziko dugu eredu.

4.6 taulan agertzen diren erantzun kodeen artean, prozedura ondo badoa eta eredu bideragarria bada, soluzio posiblea aurki dezakegu helburu-funtziorik definitu gabe; ezin dugu optimoa izango denik esan, ez baitugu kalitaterik neurtzen. Hala ere, soluzioa bideragarria izatea behar dugu. Emaitza, ordutegiak gure kasuan, bi eratara azter ditzakegu, antolatzen ditugun kontzeptuen arabera: ekintzak edo mailak.

5.3 irudian, ordutegia ekintzengatik antolatuta izango dugu. Murrizketak betetzen dira denbora-tarte guztietarako, baita ekintza-talde guztietarako ere. Optimizatu beharreko helburu-funtziorik ez duenez, aurkitzen duen lehen soluzio bideragarria izango dugu.

Mailaka egiten badugu, irudi bat baino gehiago izango dugu, maila ugari baititugu. Maila bakoitzarentzat taula bat izango dugu, eta bateratzen diren bakarrak DBHko mailak izango dira.

- Haur Hezkuntza: 5.4 irudian, gimnasia dibertigarria, ipuin kontalaria eta Haurrak Beti Jolasean ekintzak soilik agertuko dira, hiru horiek baitira Haur Hezkuntzako ikasleei eskaintzen zaizkien ekintzak.

Haur Hezkuntzako ordutegiari dagokionez, ipuin kontalaria eta gimnasia dibertigarria ekintzek 4. eta 5. mailakoak elkartzen dituzte. Arrazoi horregatik, bi tauletako denbora-tarte berberan agertuko dira bi ekintza horiek. Hala ere, bi ekintzak denbora-tarte berean egoteko arrazoa ez da aipatutakoa. Bi ekintza-talde hauek ikasle komunean ez dituztela esan genezake. Bestela, programak denbora-tarte desberdinetan jarriko lituzke. Hurrengo ikasturtean, gatazka hori gertatuz gero, programak arazorik izango ez duela uste dugu, Haur Hezkuntzako tauletan zenbait

EKINTZEN ORDUTEGIAK					
Antzerkia					
	Astelehena	Asteartea	Asteazkena	Osteguna	Ostirala
12:25-13:15	LH4	LH4	LH1	LH2	DBH
13:15-14:05	LH2	LH5	LH6	DBH	LH6
14:05-15:00	LH5	LH3	LH3		LH1
Euskal Dantza					
	Astelehena	Asteartea	Asteazkena	Osteguna	Ostirala
12:25-13:15	LH5-6	DBH	LH2	HH5	HH5
13:15-14:05	DBH	LH3	LH4	LH2	LH1
14:05-15:00	LH3	LH4	LH1	LH5-6	
Gimnasia					
	Astelehena	Asteartea	Asteazkena	Osteguna	Ostirala
12:25-13:15	HH	LH5-6	LH3-4	Hip Hop	
13:15-14:05	Hip Hop		LH1-2	LH5-6	
14:05-15:00		LH1-2	HH	LH3-4	
Haurrak Beti Jolasean					
	Astelehena	Asteartea	Asteazkena	Osteguna	Ostirala
12:25-13:15	Ipuin Kont	HH5	HH5		
13:15-14:05	HH5		HH4		
14:05-15:00	HH4	HH4			

5.3 Irudia: Orduetegiaren ekintzen antolatuta (Helburu-funtziorik gabe).

EKINTZAK MAILAKA ANTOLATURIK					
HH4					
	Astelehena	Asteartea	Asteazkena	Osteguna	Ostirala
12:25-13:15	Ipuin Kont / Gimnasia Dib				
13:15-14:05			HBJ		
14:05-15:00	HBJ	HBJ	Gimnasia Diber		
HH5					
	Astelehena	Asteartea	Asteazkena	Osteguna	Ostirala
12:25-13:15	Ipuin Kont / Gimnasia Dib		HBJ		
13:15-14:05	HBJ				
14:05-15:00			Gimnasia Diber		

5.4 Irudia: Orduetegiaren mailakaren antolatuta - Haur Hezkuntza (Helburu-funtziorik gabe).

denbora-tarte libre baitaude. Nagusiki, gimnasioaren ordutegiak eraginik ez badu ziurtatu dezakegu.

- Lehen Hezkunza, 1 eta 4 bitartean: 5.5 irudian, LH1, LH2, LH3 eta LH4 mailak izango ditugu. LH1 eta LH2 mailek gimnasia erritmikoko ekintza-talde bat osatzen dute, baita LH3 eta LH4 mailakoek ere. Horregatik, ordutegi berbera dutela argi ikusteko batera bistaratuko ditugu. Maila hauetan guztietan, antzerkia, euskal dantza, gimnasia erritmikoa eta Hip Hop egin ahal da. Hala ere, ikastolaren datuei dagokionez, LH1 eta LH2 mailako inorrek ez du Hip Hop aukeratu. Hortaz, ez dago talderik eta Hip Hop ez da ordutegiko taulan agertuko.

LH1					
	Astelehena	Astearte	Asteazkena	Osteguna	Ostirala
12:25-13:15			Antzerkia		
13:15-14:05			Gimnasia Erritmikoa		Euskal dantza
14:05-15:00		Gimnasia Erritmikoa	Euskal dantza		Antzerkia
LH2					
	Astelehena	Astearte	Asteazkena	Osteguna	Ostirala
12:25-13:15			Euskal dantza	Antzerkia	
13:15-14:05	Antzerkia		Gimnasia Erritmikoa	Euskal dantza	
14:05-15:00		Gimnasia Erritmikoa			
LH3					
	Astelehena	Astearte	Asteazkena	Osteguna	Ostirala
12:25-13:15			Gimnasia Erritmikoa	Hip Hop	
13:15-14:05	Hip Hop	Euskal dantza			
14:05-15:00	Euskal dantza	Antzerkia	Antzerkia	Gimnasia Erritmikoa	
LH4					
	Astelehena	Astearte	Asteazkena	Osteguna	Ostirala
12:25-13:15	Antzerkia	Antzerkia	Gimnasia Erritmikoa	Hip Hop	
13:15-14:05	Hip Hop		Euskal dantza		
14:05-15:00		Euskal dantza		Gimnasia Erritmikoa	

5.5 Irudia: Ordutegia mailaka antolatuta - Lehen Hezkuntza 1 eta 4 mailak bitartean (Helburufuntziorik gabe).

Alde batetik, Lehen Hezkuntzako 1. eta 2. mailak hiru ekintza besterik ez dituzte. Beraz, horien artean gatazkak ekiditea ez dirudi horren konplexua.

Bestetik, 3. eta 4. mailakoek Hip Hop ere izango dute. Baina, lau ekintza izatea bideragarria izaten jarraitzen duela esan genezake. 15 denbora-tarte egonik, 8 lezio izango dituzte gehienez. Besteen eraginik ez badago, soluzio bideragarria lortzea espero dugu.

- Lehen Hezkuntza eta Derrigorrezko Bigarren Hezkuntza: LH5, LH6 eta DBH mailak bateratuta 5.6 irudian ikus ahaliko ditugu. DBH-n bi ekintza bakarrik egonik, antzerkia eta euskal dantza, arazorik ez dugula esan genezake. Lehen Hezkuntzako 5. eta 6. mailetan, aldiz, gauzak konplexuagoak dira.

LH5					
	Astelehena	Asteartea	Asteazkena	Osteguna	Ostirala
12:25-13:15	Euskal dantza	Gimnasia Erritmikoa		Hip Hop	
13:15-14:05	Hip Hop	Antzerkia		Gimnasia Erritmikoa	
14:05-15:00	Antzerkia			Euskal dantza	
LH6					
	Astelehena	Asteartea	Asteazkena	Osteguna	Ostirala
12:25-13:15	Euskal dantza	Gimnasia Erritmikoa		Hip Hop	
13:15-14:05	Hip Hop		Antzerkia	Gimnasia Erritmikoa	Antzerkia
14:05-15:00				Euskal dantza	
DBH					
	Astelehena	Asteartea	Asteazkena	Osteguna	Ostirala
12:25-13:15		Euskal dantza			Antzerkia
13:15-14:05	Euskal dantza			Antzerkia	
14:05-15:00					

5.6 Irudia: Ordutegiaren mailak antolatuta - Lehen Hezkuntza 5 eta 6 mailak eta DBH (Helburu-funtziorik gabe).

5.6 irudiko Lehen Hezkuntzako taulei erreparatuz, aurreneko begirada batean, ez dirudi horren zaila. Baina, kirola ekintza gehitzea falta da. Kirolak lau eguerdi oso hartzen dituzenez, ez dugu taula berean sartu, taula ulertzea zaildu dezakeelako. Hala ere, kirolaren ordutegia 5.11 irudian ikus dezakegu. Horrela, bi irudiak aztertuz, gainjartzeak daudela begi bistakoa da. Baina, 4.2.2 atalean, kirolarekin ematen diren gatazkak aztertu ditugu. Gatazka horiek minimizatzeko generoen arabera murrizketak gehitu ditugu.

Honekin guztiarekin, soluzio bideragarria lortzen dugula ondoriozta dezakegu. Lezio-kopuruen eta irakasle eta gelen murrizketak betetzen direla aztertu dugu. Gainera, gatazken arabera murrizketak ere betetzen dira, nahiz eta ikasle batzuek denbora-tarte berean ekintza bat baino gehiago izan. Horren azalpena, 4.3.2 atalean ikusi dugu.

5.2.2 Helburu-funtzioarekin

Murrizketaz gain helburu-funtzioa gehi dezakegu. Haur Hezkuntzako ekintza-taldearen lehentasuna aplikatu dugu: lezioak ahalik eta beranduen izatea, eguerdiko aurreneko denbora-tarteetan bazkaltzeko denbora egon dadin. Horrela, Haur Hezkuntzako ekintza-taldeen lehentasuna izango dute, eta besteak hauen arabera kokatzen joango dira, baldin soluzio bideragarria existitzen jarraitzen badu, betiere, murrizketak betez. Honen eta murrizketen aplikazioaren eragina aztertuko dugu.

$$\min \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{\text{talde_kopuru}_i} \sum_{k=1}^p d_{ijk} \cdot x_{ijk}$$

4.2.3 atalean definitutako helburu-funtzioa dugu berriro ere.

5.7 irudian, ekintzengatik antolatutako ordutegia izango dugu eta, bertan, ekintza bakoitzarentzat, 4.2 taulan agertzen diren zenbakiak lezioa duten ekintza-taldeengatik (mailak) aldatuko ditugu. Hala ere, gimnasia dibertigarria eta gimnasia erritmikoa ekintzak gimnasia bezala defini ditzakegu, laburduratzat, komunean mailarik ez baitute. Gainera, gela berberan (gimnasioan) egiten direnez, ordutegi berean sailkatzea lagungarria izango da gatazkarik ez dugula frogatzeko. Berdina gertatzen da Hip Hop ekintzarekin, gela berean, hots, gimnasioan ere ematen baita. Gimnasioan ematen diren ekintzez gain, Haur Hezkuntzakoek ekintzak ere batera ditzakegu. Nahiz eta toki berean ez izan, gazteenek ekintza gutxiago dituzte eta ordutegi batean bistaratzea egokia dela uste du bezeroak.

EKINTZEN ORDUTEGIAK					
Antzerkia					
	Astelehena	Asteartea	Asteazkena	Osteguna	Ostirala
12:25-13:15	LH5	LH4	LH1	LH5	DBH
13:15-14:05	LH1	LH2	LH6	LH2	LH6
14:05-15:00	LH3	LH3	LH4	DBH	
Euskal Dantza					
	Astelehena	Asteartea	Asteazkena	Osteguna	Ostirala
12:25-13:15	LH4	LH5-6	DBH	LH1	
13:15-14:05	LH5-6	LH1	LH2	LH3	LH4
14:05-15:00	HH5	HH5	LH3	LH2	DBH
Gimnasia					
	Astelehena	Asteartea	Asteazkena	Osteguna	Ostirala
12:25-13:15	LH1-2				
13:15-14:05	LH3-4	Hip Hop	LH3-4	HH	
14:05-15:00	LH5-6	LH5-6	HH	Hip Hop	LH1-2
Haurrak Beti Jolasean					
	Astelehena	Asteartea	Asteazkena	Osteguna	Ostirala
12:25-13:15					
13:15-14:05	HH5		HH4		
14:05-15:00	Ipuin Kon./HH4	HH4		HH5	HH5

5.7 Irudia: Ordutegia ekintzengatik antolatuta (Helburu-funtzioa aplikatuz).

Lehenik eta behin, gainjartzerik ez dagoela frogatu beharko dugu, hots, murrizketak betetzen direla. Kasu honetan, definitutako helburu-funtzioarekin ahalik eta beranduenean jarriko dira gazteen lezioak, eta ipuin kontalaria eta HH4 mailako HBJ ekintzak gainjarri egiten dira. Toki berean egiten ez direnez, murrizketarik ez dago zentzu horretan. Baina, ikasleak komunean badituzte ez lukete denbora-tarte berberan egon beharko. Murrizketa

hori aztertzeko aukera izan dugu, eta ez dute ikaslerik komunean. Beraz, soluzioa bideragarria da. Ordea, ikasleen eskaerak aldatzen badira, ekintza biek ikasle komunak izanik, gainjartze hori desagertu egingo lirakeela baieztatu dezakegu.

Bestalde, soluzioa ez da optimoa; suboptimala da. 4.2.3 atalean ikusi dugun 4.6 taulari erreparatu, ez dugu zero (0) balioa lortzen, batekoa (1) baizik. Hala eta guztiz ere, murrizketak betetzen direla ziurtatu gara. Eredu linealetan, soluzio suboptimalak lortzean, definitzen diren murrizketak bete egiten dira. Gainera, soluzio suboptimal gehiago ditu, baina, gure programak denbora-muga jakin bat izango du, exekuzioa denbora egoki batean soluzioa aurkitzeko.

Mailaka antolatutako irudi bat baino gehiago izango dugu, aurreko atalean antzera banandurik.

- Haur Hezkuntza: 5.8 irudian ikus ahalko ditugu gaztetxoaren ordutegiak. Bertan egiaztatzen behar dugu gure helburu-funtzioa optimizatzen dugun.

EKINTZAK MAILAKA ANTOLATURIK					
HH4					
	Astelehena	Asteartea	Asteazkena	Osteguna	Ostirala
12:25-13:15					
13:15-14:05			HBJ	Gimnasia Diber	
14:05-15:00	Ipuin Kon / HBJ	HBJ	Gimnasia Diber		
HH5					
	Astelehena	Asteartea	Asteazkena	Osteguna	Ostirala
12:25-13:15					
13:15-14:05	HBJ			Gimnasia Diber	
14:05-15:00	Ipuin Kontalaria		Gimnasia Diber	HBJ	HBJ

5.8 Irudia: Ordutegia mailaka antolatuta - Haur Hezkuntza (Helburu-funtzioa aplikatuta).

Ipuin kontalaria eta HH4 mailako HBJ ekintzen arteko gainjartzea dugu soilik. Baina, horien artean ikaslerik komunean ez dagoela aztertu dugu, beraz, helburu-funtzioaren balioa optimizatzeko prozesua izan dela esan genezake. Hortaz, lehen esan bezala, denbora-muga ezartzen dugu, eta soluzio suboptimal bat lortzen dugu.

- Lehen Hezkuntza, 1 eta 4 bitartean: 5.9 irudian, LH1, LH2, LH3 eta LH4 mailen ekintzen ordutegiak izango ditugu.

Tokien eta gatazken arabera gainjartzeak izango dira garrantzitsuenak soluzioa aztertzeko garaian, eta horiek gertatzen ez direla ikus dezakegu. Maila hauentzat soluzioa bideragarria da.

LH1					
	Astelehena	Asteartea	Asteazkena	Osteguna	Ostirala
12:25-13:15	Gimnasia Erritmikoa		Antzerkia	Euskal dantza	
13:15-14:05	Antzerkia	Euskal dantza			
14:05-15:00					Gimnasia Erritmikoa

LH2					
	Astelehena	Asteartea	Asteazkena	Osteguna	Ostirala
12:25-13:15	Gimnasia Erritmikoa				
13:15-14:05		Antzerkia	Euskal dantza	Antzerkia	
14:05-15:00				Euskal dantza	Gimnasia Erritmikoa

LH3					
	Astelehena	Asteartea	Asteazkena	Osteguna	Ostirala
12:25-13:15					
13:15-14:05	Gimnasia Erritmikoa	Hip Hop	Gimnasia Erritmikoa	Euskal dantza	
14:05-15:00	Antzerkia	Antzerkia	Euskal dantza	Hip Hop	

LH4					
	Astelehena	Asteartea	Asteazkena	Osteguna	Ostirala
12:25-13:15	Euskal dantza	Antzerkia			
13:15-14:05	Gimnasia Erritmikoa	Hip Hop	Gimnasia Erritmikoa		Euskal dantza
14:05-15:00			Antzerkia	Hip Hop	

5.9 Irudia: Ordutegia mailaka antolatuta - Lehen Hezkuntza 1 eta 4 mailak bitartean (Helburufuntzioa aplikatuta).

- Lehen Hezkuntza eta Derrigorrezko Bigarren Hezkuntza; LH5, LH6 eta DBH: 5.10 irudian, maila horietako ekintzen ordutegiak izango ditugu, eta 5.11 irudia alboan izan beharko dugu gatazkak alderatzeko.

LH5					
	Astelehena	Asteartea	Asteazkena	Osteguna	Ostirala
12:25-13:15	Antzerkia	Euskal dantza		Antzerkia	
13:15-14:05	Euskal dantza	Hip Hop			
14:05-15:00	Gimnasia Erritmikoa	Gimnasia Erritmikoa		Hip Hop	

LH6					
	Astelehena	Asteartea	Asteazkena	Osteguna	Ostirala
12:25-13:15		Euskal dantza			
13:15-14:05	Euskal dantza	Hip Hop	Antzerkia		Antzerkia
14:05-15:00	Gimnasia Erritmikoa	Gimnasia Erritmikoa		Hip Hop	

DBH					
	Astelehena	Asteartea	Asteazkena	Osteguna	Ostirala
12:25-13:15			Euskal dantza		Antzerkia
13:15-14:05					
14:05-15:00				Antzerkia	Euskal dantza

5.10 Irudia: Ordutegia mailaka antolatuta - Lehen Hezkuntza 5 eta 6 mailak eta DBH (Helburufuntzioa aplikatuta).

Maila hauetan ere helburu-funtzioak ez du eragin zuzenik. Lehen Hezkuntzako 5. eta 6. mailetan aztertu beharreko puntu garrantzitsuena kirolarekin sortzen diren gatazkak dira. 5. mailako ikasleak dituzten ekintzetan, argi dago neska-kopurua handiagoa dela guztietan. Horrela, asteazkenak eta ostiralak hutsik ditugu. Bestalde,

Kirola					
	Astelehena	Asteartea	Asteazkena	Osteguna	Ostirala
12:25		Kirola mutil LH5 LH6	Kirola neska LH5 LH6	Kirola mutil LH5 LH6	Kirola neska LH5 LH6
15:00					

5.11 Irudia: Lehen Hezkuntzako 5. eta 6. mailako kirol egunen ordutegia.

6. mailan, antzerkia-taldean soilik egongo da mutil gehiago. Hortaz, ekintza-talde hori asteazken eta ostiraletan, nesken kirol egunetan, esleitua izan daiteke. Kasu honetan, hori gertatzen da. Azkenik, Derrigorrezko Bigarren Hezkuntzako ikasleek antzerkia eta euskal dantza ekintzak antolatzeke ez dute arazorik.

Horrela, Lehen Hezkuntzako 5. eta 6. mailako ekintza-talde bakoitzerako honakoa ondoriozta dezakegu:

- Antzerkia LH5: Astelehena da kirolarekin gatazkarik sortzen ez duen egun bakarra, baina ezin ditugu guztiak bertan sartu. Hala ere, egun horretan ahalik eta ekintza gehien izatea lagungarria izango da, ikasleek kirola egin ahal dezaten. Kasu zehatz honetan, asteleheneko hirugarren denbora-tartean eta astearteko bigarren denbora-tartean ditugu lezioak. Asteartea mutilen kirol-eguna bezala definitu dugularik, ekintza-talde honetan neska gehiago dagoela segurtatu daiteke. Nesken kirol-egunekin ez gainjartzeko murrizketa gehitu zaio ekintza-talde honetako erabaki-aldagaiei. Berdina gertatuko da neska-kopurua mutil-kopurua baino handiagoa den kasu guztietan.
- Antzerkia LH6: Lehen Hezkuntzako 5. mailakoen ekintza-taldearekin gertatzen ez den bezala, talde honetan mutil gehiago ditugu. Hots, mutil-kopurua neska-kopurua baino handiagoa da. Horren ondorioz, ekintza-talde hau asteazkenetan eta ostiraletan esleitua egon daiteke, eta hori gertatzen da. Beraz, ordutegi hau dagoen bezala mantentzen bada, 5. mailako neskek antzerkiaren eta kirolaren artean aukeratu beharko dute.
Gatazka hau konpontzeko era bat arratsaldeko denbora-tarteak gehitzea izan daiteke. Denbora-tarte kopuru handiago batekin eta eguerdiko denbora-tarteei lehentasuna jarritz, ordutegi bideragarriak lor genitzake.
- Euskal dantza (LH5 eta LH6): Ekintza-talde honek 5. eta 6. mailak elkartzen ditu. Ikasleen datuak sakonago aztertuz, euskal dantza, gimnasia erritmikoa eta Hip Hop ekintzetan, oro har, neskak gailentzen dira. Kasu hau ez da salbuespena. Horrela, astelehenean eta ostegunean (mutilen kirol-egunetako bat) ditu lezioak.

- Gimnasia erritmikoa (LH5 eta LH6): aurreko ekintza-taldean bezala, bi mailak elkartzen dira, eta neska-kopurua handiagoa da. Gainera, ehuneko ehuna neskak izatea ez da arraroa. Dena dela, honen ordutegia astearte eta ostegunetan finkatu da, mutilen bi kirol-egunetan.
- Hip Hop (LH5 eta LH6, baita LH3 eta LH4 ere): 5. eta 6. mailako ikasleez gain, ekintza-talde honek Lehen Hezkuntzako 3. eta 4. mailakoak bateratzen ditu. Beraz, talde honek bete beharreko baldintzak gehiago izango dira. Alde batetik, ezin du Haur Hezkuntzako gimnasia dibertigarriarekin talka egin. Bestetik, gimnasia erritmikoko taldeak eta bera ezin dira aldi berean izan. Eta horretaz gain, ezin du gatazkarik izan LH3, LH4, LH5 eta LH6 mailako beste ekintzekin, baldin komunean ikasleak dituen. Hala eta guztiz ere, murrizketa horiek betetzea posible da, eta astelehenean eta ostegunetan dituzten lezioak, eguneko bigarren eta lehen denbora-tartean, hurrenez hurren.

Helburu-funtzioaren eragina

Atal honetan, helburu-funtzioa gehitu dugu eremuan, eta horren ondorioz, soluzioa aldatu da. Hau da, helburu-funtziorik gabe egindako probaren desberdina den beste soluzio bat lortu dugu. Hala ere, bietan soluzio bideragarria lortu dugu. Horrela, aipatutako desberdintasun hori [5.12](#) irudian ikus ahaliko dugu.

Helburu-funtzioa duen eremuan, helburu-funtziorik ez duenean ez bezala, eguneko guztietako lehen denbora-tartea ekintzarik gabe dago. Hau da, betiere, murrizketa guztiak betetz, Haur Hezkuntzako lezioak egunean ahalik eta beranduenean esleitzen dira. Horrela, gazteenek lehenago bazkaltzeko aukera izango dute. Eta aurretik aztertu dugun bezala, soluzio bideragarri bat izaten jarraituko dugu, gainontzeko mailetan murrizketak betetzen jarraitzen baitira.

5.3 Aldaketa

Gure sistema ebaluatzeko garaian eta probak egiterakoan, hainbat ekintza eta taldeekin probatu dugu, ekintza eta talde gutxiago sartzea ez baitzuen zentzurik. Hots, talde gutxiago definituz, lezio gutxiago egongo dira, eta beraz, antolaketa tribiala izango da. Hortaz, proba erreal bat definitzea beharrezkoa dela uste dugu. Murrizketak era egokian betetzen

Helburu-funtziorik gabe

HH4					
	Astelehena	Asteartea	Asteazkena	Osteguna	Ostirala
12:25-13:15	Ipuin Kont / Gimnasia Dib				
13:15-14:05			HBJ		
14:05-15:00	HBJ	HBJ	Gimnasia Diber		

HH5					
	Astelehena	Asteartea	Asteazkena	Osteguna	Ostirala
12:25-13:15	Ipuin Kont / Gimnasia Dib				
13:15-14:05	HBJ		HBJ		
14:05-15:00			Gimnasia Diber		

Helburu-funtzioarekin

HH4					
	Astelehena	Asteartea	Asteazkena	Osteguna	Ostirala
12:25-13:15					
13:15-14:05			HBJ	Gimnasia Diber	
14:05-15:00	Ipuin Kon / HBJ	HBJ	Gimnasia Diber		

HH5					
	Astelehena	Asteartea	Asteazkena	Osteguna	Ostirala
12:25-13:15					
13:15-14:05	HBJ			Gimnasia Diber	
14:05-15:00	Ipuin Kontalaria		Gimnasia Diber	HBJ	HBJ

5.12 Irudia: Helburu-funtzioa gehitzearen eragina, Haur Hezkuntzako ordutegian.

direla egiaztatzeko, alabaina, datu gutxiago erabili dira, akatsak aurkitzea errazteko. Baina, behin algoritmoak ongi inplementaturik, proba sendoak egin dira.

Badirudi ikastolak ekintza gehiago eskaintzeko aukera eman nahi duela. Ondorioz, sistema horretarako prest egon behar du. Hala ere, ekintzen gehikuntza hori zentzuz egin behar dela uste dugu. Hau da, ezin ditugu horrenbeste ekintza gehitu soluzioa bideragarria izatea nahi badugu. Ikasle batzuek denerako interesa dute, batere gaizki ez dagoena, baina, horiek guztiak denbora mugatu batean egitea ezinezkoa bihur daiteke. Bestalde, maila bakoitzean ikasle gehiago apuntatzen badira, talde gehiagoen sorrera ondorioztatuko du. Sistema honetan, gela bereko bikoizketak egitea posible ez den arren, beste gela edo toki bat eskuragarri izanik, hori egin daiteke. Esan beharra dago, 4.3 taulan adierazten diren ekintzak burutzen diren toki edo gela bakoitzerako definitu behar ditugula.

Adibide gisa, euskal dantzan beste talde bat gehitu nahi badugu, hasiera batean, bideraezina dela esango genuke, asteen bi lezio izanik, gehienez zazpi talde osa ditzakegu eta. Baina, euskal dantza burutzeko beste toki bat baliagarri egonik, problemarekin aurrera segi daiteke.

Imagina dezagun, Lehen Hezkuntzako 5. eta 6. mailak bakoitza bere aldetik sortzen dutela talde bat. Eta DBHkoek talde bat izaten jarraitzen dutela. Horrela, aurreneko zazpi

taldeek toki berean definitzen segi dezakegu. Baina, DBH mailakoentzat beste gela bat esleitzen diogu. Horrela, 5.1 taulan moduan definitu beharko ditugu datuak. Ekintzaren izena euskal dantza izaten jarraituko du, baina, talde bakarra egongo da eta tokia 6 balioarekin definituko da; beste gela bat, aurrekoen berdina ez dena.

Horretaz gain, ekintza-talde bakoitzaren informazioa eramango duen fitxategia ere aldatu beharko da. Fitxategi horrek duen formatua 5.2 taulakoa da, eta kasu honetan, honela definituko genuke. Aurreko probekin alderatuz, euskal dantzaren seigarren eta zazpigarren taldeetan (LH5 eta LH6) izango dugu desberdintasuna. Gainera, azkeneko lerroa gehituko da.

Ekintza	Talde-kopurua	Lezio-kopurua astean	Tokia
Antzerkia	7	2	1
Euskal dantza	7	2	2
Gimnasia Dibertigarria	1	2	3
Gimnasia Erritmikoa	3	2	3
Hip Hop	1	2	3
Ipuin kontalaria	1	1	4
Haurrak Beti Jolasean	2	3	5
Euskal dantza	1	2	6

5.1 Taula: Sistemari sartu beharreko eskolaz kanpoko ekintzen datuen adibidea.

Kasu honetan, nahiz eta talde gehiago egon, ez ditugu ikasleen eskaerak aldatu; talde bat bikoiztu da besterik gabe. Horrela, ikastolako arduradunak probak egin ditzake taldeen osaketa desberdinak definituz. Gero, bakoitzaren emaitzak azter ditzake eta hoberen egokitzen denarekin gelditu, bere baldintzak eta eskakizunak betetzen dituelarik.

Horretaz gain, ekintzak eta taldeak gehitzeaz eta kentzeaz gain, kirolaren egunak ere alda daitezke. Hau da, kirola ez da eskuz inplementatzen dugun murrizketa. Kirol-egunak ikastolaren esku ez daudenez, horiek aldatzeko aukera izatea derrigorrezkoa bihurtzen da. Horregatik, aurreko ataletan azaldutako formatua jarraitzen duen fitxategia ongi bete beharko da, bai mutilen bai nesken kirol-egunak zehazteko.

5.13 irudian, 5.1 eta 5.2 tauletan adierazitako aldaeraren soluzioa dugu. Ikus daitezkeen, soluzioa bideragarria da, Euskal Dantzako DBHko ekintza-taldeak beste toki batean burutuko baititu lezioak. Horrela, sistemaren malgutasuna frogatzen dugu.

Ekintza	Hezkuntza	Maila1	Maila2	Maila3	Maila4
Antzerkia	LH	1	0	0	0
Antzerkia	LH	2	0	0	0
Antzerkia	LH	3	0	0	0
Antzerkia	LH	4	0	0	0
Antzerkia	LH	5	0	0	0
Antzerkia	LH	6	0	0	0
Antzerkia	DBH	1	2	3	4
Euskal dantza	HH	5	0	0	0
Euskal dantza	LH	1	0	0	0
Euskal dantza	LH	2	0	0	0
Euskal dantza	LH	3	0	0	0
Euskal dantza	LH	4	0	0	0
Euskal dantza	LH	5	0	0	0
Euskal dantza	LH	6	0	0	0
Gimnasia Dibertigarria	HH	4	5	0	0
Gimnasia Erritmikoa	LH	1	2	0	0
Gimnasia Erritmikoa	LH	3	4	0	0
Gimnasia Erritmikoa	LH	5	6	0	0
Hip Hop	LH	3	4	5	6
Ipuin kontalaria	HH	4	5	0	0
Haurrak Beti Jolasean	HH	4	0	0	0
Haurrak Beti Jolasean	HH	5	0	0	0
Euskal dantza	DBH	1	2	3	4

5.2 Taula: Sistemari sartu beharreko eskolaz kanpoko ekintza-taldeen datuen adibidea.

5.4 Ondorioak

Atal honetan, ordutegiaren antolaketaren optimizazioaren inguruan ikasi dugula esan dezakegu. Eredu linealaren ezaugarriak jarraituz, soluzioak lortu ditugu.

Azken finean, kasu konkretuei dagokionez, zehazki, Lehen Hezkuntzako 5. eta 6. mailak, arazo nagusi bat dute: ekintza asko dituzte. Baina, ekintza ugari izateaz gain, kirola da gatazka gehien sortzen dituen ekintza. Behin eta berriro azaldu dugun bezala, kirolak murriztapen asko gehitzen dizkio antolaketari. Hala eta guztiz ere, ikastolako arduradunak ekintza-talde jakin batzuk arratsaldean jartzen ditu, ikasleei aukera gehiago emateko intentzioarekin. Hasiera batean, hori ekidin dugu, ahalik eta klase edo lezio gehien sartu behar dira eta eguerdian. Arratsaldeko denbora-tarteak gehituz gero, problemaren definizioa apur bat aldatuko litzake. Aldaera edo etorkizunerako lan gisa, alabaina, aukera izan

EKINTZEN ORDUTEGIAK					
Antzerkia					
	Astelehena	Asteartea	Asteazkena	Osteguna	Ostirala
12:25-13:15	LH5	LH4	LH6	LH5	LH2
13:15-14:05	LH4	LH1	LH2	LH1	LH6
14:05-15:00	DBH	LH3	LH3	DBH	
Euskal Dantza					
	Astelehena	Asteartea	Asteazkena	Osteguna	Ostirala
12:25-13:15	LH6 / DBH	LH2 / DBH	LH4	LH1	LH1
13:15-14:05	LH5	LH5	LH3		LH3
14:05-15:00	HH5	HH5	LH2	LH6	LH4
Gimnasia					
	Astelehena	Asteartea	Asteazkena	Osteguna	Ostirala
12:25-13:15	LH3-4				
13:15-14:05	LH1-2	LH3-4	HH	Hip Hop	HH
14:05-15:00	Hip Hop	LH5-6		LH5-6	LH1-2
Haurrak Beti Jolasean					
	Astelehena	Asteartea	Asteazkena	Osteguna	Ostirala
12:25-13:15					
13:15-14:05				HH4	
14:05-15:00	HH4 / Ipuin Kont	HH4	HH5	HH5	HH5

5.13 Irudia: Aldaeraren ordutegia ekintzengatik antolatuta (Helburu-funtzioa aplikatuz).

daiteke hori egitea.

Ondorioz, esan bezala, definitutako ekintza eta taldeen arabeko ordutegi trinko bat lortuko dugu, ekintza, talde eta maila guztiak batera kudeatzen direlarik. Gainera, datu konkretu batzuekin egin dugu lan; 2015-2016 ikasturtekoak. Taldeak beste era batera sortu ditugu, bikoizketak ekidinez. Horregatik, emaitza desberdinak lortzen ditugula argi dago.

Sistemak aldaerak onartzea abantaila kontsidera daiteke, bere murriztapenak dituen arren. Problema bideragarri bat dugula kontuan izan behar dugu ekintzak eta beraren taldeak definitzean. Lehen esan bezala, nagusiki, hauen kopuruak errespetatu behar ditugu.

Beraz, toki bakoitzean burutzen den ekintza bakoitzerako argi izan behar dugu baldintza hau: ekintzaren talde-kopurua lezio-kopuruarengatik biderkatuz, honek ezin du denbora-tarte kopurua baino handiagoa izan.

$$talde_kopurua_i \cdot lezio_kopurua_i \leq denbora_tarte_kopurua \quad (i = 1..m)$$

Gero, taldeen zehaztapenetan, mailaka antolatzeko aukera dago. Hots, Lehen Hezkuntza-koak ez dira Derrigorrezo Bigarren Hezkuntzakoekin elkartuko. Egokia dela esan dezakegu, ikasle gutxi izanik, gimnasia erritmikoan egiten dena burutzen baita; LH1 eta LH2,

LH3 eta LH4, eta, LH5 eta LH6 elkartu. Oro har, bateratze horiek arruntak dira. Hala ere, lau maila elkartzeko aukera dago, DBH mailako ekintzetan gertatzen den bezala. Azken finean, murriztapen horiek aurkitzen dizkiogu gure formatuari.

6. KAPITULUA

Jarraipena eta kontrola

Kapitulu honetan, proiektuaren jarraipena egiten dugu, baita komunikazio-, kalitate- eta kontingentzia-planen kontrola ere, plangintzan adierazitakoarekin alderatuz. Azkenik, ebaluazio pertsonala burutzen dugu.

6.1 Proiektuaren garapena

Atal honetan, zeregin bakoitzean behar izandako eta bakoitzarentzat aurreikusitako orduen arteko alderaketa egin dugu. Osotasunean, proiektua bukatzeko 300 ordu aurreikusita daude plangintzan.

Hurrengo 6.1 irudiak zeregin bakoitzeko aurreikusitako eta behar izandako orduak erakusten ditu eta bakoitzaren desbiderapena ondoan adierazten da, bai ordutan bai atazari esleitutako ordu-kopuruaren arabera ehunekoan ere. Berdez, aurreikusitakoa baino ordu gutxiago behar izan ditugun atazak markatu ditugu; gorriz, aldiz, denbora gehiago behar izan dutenak. Bestalde, intentsitateak desbiderapenaren neurria adierazten du, zenbat eta desbiderapen handiagoa izan, orduan eta ilunagoa da kolorea.

Ez da proiektuaren osatzea arriskuan jarri duen atzerapen edo arazorik egon. Hala ere, plangintzan aurreikusitako orduekin konparatuz, desbideraketak gertatu dira; batez ere, metodoak aztertzean, emaitzak aztertzean eta memoria idaztean. Hauen larritasuna, ordea, ez da berdina. Izan ere, metodoak aztertzeko atazari 15 ordu besterik ez dizkiogu esleitu plangintzan, eta ondorioz, ordu gutxi batzuek desbiderapen ehuneko handia izatea eragi-

ten dute. Bestalde, emaitzak aztertzean eta memoria idaztean gertatutako desbiderapena handiagoa da, atazarentzat aurreikusitako ordu-kopurua handiagoa baita. Hala ere, proben atalean, desbiderapen hori proben prestatzearekin berdindu da, probak prestatzeko arazo gutxiago egon direlarik.

Kodea	Ataza/Zeregina	Estimazioa	Errealia	Desbiderapena	
		Denbora	Denbora	Denbora	Ehunekoak
-	-	300	295,30	-4,30	-2%
1	KUDEAKETA	30	31,30	1,30	4%
1.1	Plangintza	12	13	1	8%
1.2	Jarraipena	11	11	0	0%
1.3	Kontrola	7	7,30	0,30	4%
2	IKERKETA	30	31	1	3%
2.1	Arazoa ezagutzea	15	14	-1	-7%
2.2	Metodoak aztertzea	15	17	2	13%
3	GARAPENA	45	42	-3	-7%
3.1	Formalizazioa	45	42	-3	-7%
4	PROBAK	120	122	2	2%
4.1	Algoritmoa inplementatzea	85	75	-10	-12%
4.2	Emaitzak aztertzea	35	47	12	34%
5	ITXIERA	75	69	-6	-8%
5.1	Memoria idaztea	60	69	9	15%
5.2	Defentsa prestatzea	15			
GUZTIRA:		300	295,30	-4,30	-2%

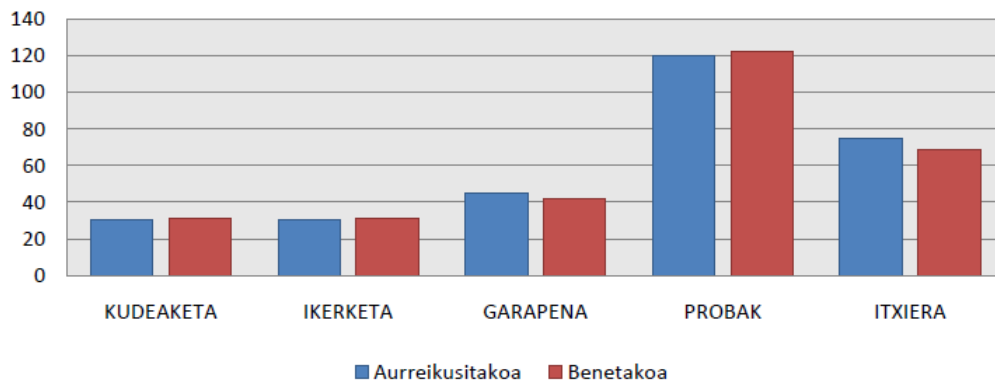
6.1 Irudia: Jarraipen-taula. Aurreikusitako-denborak eta denbora-errealia adierazten dira, desbiderapenekin batera.

Azken lerro urdin argian ikus dezakegunez, oraindik defentsari dagozkion orduak ez ditugu bete, ezta aurreikusitako guztiak ere. Beraz, horretan emango ditugun orduak proiektu osoaren orduak betetzen lagunduko du, baita balio hori gainditzen ere. Hala ere, ordu gehiago sartu arren, ez da desbiderapen handirik gertatuko.

6.2 irudian, ataza nagusi bakoitzerako aurreikusitako orduen grafikoa (urdina) eta benetan behar izandakoena (gorria) alderatzen dira. Zutabe bikote bakoitzaren azpian zein atazari dagozkion adierazten da. Ezkerreko ardatzean orduak adierazten dira. Modu berean, **6.3** irudian azpiataza bakoitzarekin egin dugu konparaketa. Kasu honetan, zutabe bikote bakoitzaren azpian azpiatazaren izena sartzen ez denez, kodea jarri dugu. Kode bakoitza zein azpiatazari dagokion aurreko jarraipen-taulan agertzen da (ikus **6.1** irudia). Oro har, aurreikuspena nahiko egokia izan da. Desbiderapen handienak 2.2, 4.2 eta 5.1 azpiatazetan gertatu dira, hau da, metodoak aztertzean, emaitzak aztertzean eta memoria idaztean,

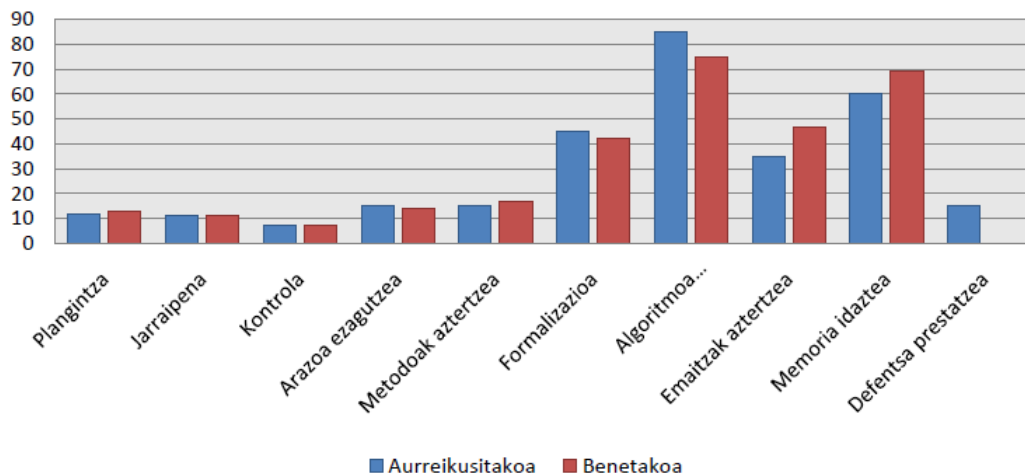
hurrenez hurren. Metodoak aztertzean izandako desbiderapena problemaren formalizazio trinko bat egin behar zelako izan da. Gero, emaitzak aztertzean, emaitzak benetan definitutako murrizketak betetzen zituela egiaztatzearen ondorioz. Azkenik, memoria idaztean izandako desbideraketari dagokionez, esperientzia falta izan da arrazoi nagusia, inoiz ez baikara halako proiektu batean sartuta egon, eta, ondorioz, ez dugu hain dokumentu luze-rik idatzi. Gainera, dokumentua $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ -ez idatzi izanak zeregina zaildu du.

Ataza nagusiak



6.2 Irudia: Ataza nagusientzako aurreikusitako eta benetan erabilitako orduen konparaketa.

Azpiatazak



6.3 Irudia: Azpiatazentzat aurreikusitako eta benetan erabilitako orduen konparazioa.

Bestalde, hasiera batean, plangintzan eguneroko iterazio-metodo bati jarraitzea proposatu dugu (ikus [2.2.3](#) atala eta [2.1](#) irudia). Proiektuari ekitean, metodo horri jarraitu diogu

zeregin berarekin ez aspertzeko asmoz, baina, gerora, zeregin garrantzitsuenarekin edo presa gehiena duenarekin zentratzea egokiagoa dela ikusi dugu, beste zeregin batzuek itxaron baitezakete, proiektuaren aurrerapena oztopatu gabe.

6.2 Komunikazioak

Plangintzan sortutako komunikazio-planean, [2.8.1](#) atalean, bi komunikazio-bide nagusi adierazi ditugu, eta horiek biak bakarrik erabili ditugu: posta elektronikoa eta aurrez aurreko komunikazioa.

Axular Lizeoa ikastolako kideekin, aurrez aurreko komunikazioa izan dugu lanaren nondik norako guztiak zehazteko. Proiektuaren bizi-zikloan zehar, aldiz, posta elektronikoa izan da bidea. Azkenik, emaitzak lortzearekin batera, aurrez aurreko komunikazioa berriro erabili da, egindako lana aurkezteko modua dela uste dugulako.

Alexander Mendiburu eta Borja Calvo zuzendariekin biak erabili ditugu. Alde batetik, posta elektronikoa kontsulta edo galdera motzak egiteko erabili dugu, baita proiektuaren berri labur-labur emateko edo bilerak adosteko ere. Beste aldetik, arazo handiagoak izan ditugunean edo proiektuaren jarraipena sakonago egiteko, bilerak adostu eta bildu egin gara.

6.3 Kalitatea

[2.7](#) atalean aipatutako eraginkortasun adierazleak aztertzen ditugu jarraian, proiektuan lortutako kalitatea zein den ikusteko, hasieran zehaztutako irismenaren arabera.

Adierazle kuantitatiboak

- Ordutegia mantentzea: proiektuaren amaiera plangintzan aurreikusitakoarekin bat dator. Oro har, atazak bakoitzarentzat jarritako muga baino lehenago amaitu ditugu, baina, ataza horien errepasso sakona egin da helburuak bete direla egiaztatzeko. Horrela, datak errespetatu ditugu, atzerapena eragin duten arazorik ez baitugu izan.
- Lan egindako orduak: proiektua osatzeko 300 orduetatik, 300 aurreikusi ditugu plangintzan atazak egiteko, bakoitzak bere koltxoia duelarik. Aurreko orrietan ikusi dugunez, aurreikusitako orduetatik zertxobait pasa gara, baina, hala ere, %10eko desbiderapenera ez gara iristen. Gainera, defentsa prestatzeko ordu batzuk gelditzen

zaizkigu, eta aipatutako desbiderapena pasatzea ez dugu espero. Beraz, adierazle hau arrakastaz bete dugula ondorioztatzen dugu.

- Proba-kopurua: hasteko, aipatu beharrekoa da proba sendoa egin ahal izateko, proba txiki asko egin behar izan direla, funtzionamendua aztertzeko, baita horren emaitzak ere. Proba arrakastatsua aurreko ikasturteko egoera izan da, eta horretaz gain, aldaera posible batzuk burutu ditugu, sistemaren murriztapenak eta abantailak argiago ikusteko.

Adierazle kualitatiboak

- Sistemaren eraginkortasuna: azken bertsioak emaitza behar bezala ematen ditu eta ez dauka exekutatzeko inongo arazorik.
- Kodearen argitasuna: azken bertsioan erabilitako aldagaiak, sistemari sartu beharreko informazioa, argiak direla uste dugu, ulerterrazak. Hau da, izenak esanguratsuak dira, bakoitzak zer adierazten duen ulertzen baita. Bestalde, kodean iruzkinak jarri ditugu, baina hobe daiteke.
- Emaitzen asebetetzea: azken bertsioan hobekuntzak lortu ditugu, eta ondorioetan ikus dezakegu lortutakoa bideragarria dela. Honenbestez, emaitzekin asetuta gelditu garela esan dezakegu.
- Esperientzia: proiektuan zehar, ordutegien antolaketari eta hori ebazteko metodoei buruz asko ikasi dugu, baita programazioari buruz ere. Baina, batez ere, programazio linealari buruz ikasi dugu, horrekin aritu baikara.

Adierazle garrantzitsuak

- Zuzendarien oniritzia: zuzendariak bere oniritzia eman dute proiektuaren defentsa prestatzeko, beraz, proiektua amaitutzat eman dezakegu.

Oro har, proiektua arrakastatsua izan da; kalitatea neurtzeko adierazle gehienak erabat bete ditugu. Gainera, plangintzan definitutako helburu nagusiak bete ditugu, baita gehigarriak ere.

6.4 Arriskuak

Plangintzaren [2.7.2](#) atalean, arrisku hauek aipatu ditugu:

- Hardware arazoak.
- Lana galtzea (kodea, memoria edo bestelakoak).
- Betebeharrak, helburuak edo irismena eguneratzea.
- Ezusteko programazio-arazoak.
- Esperotako hobekuntzak ez lortzea.

Betiere, hardware aldetik arazorik ez izatea espero dugun arren, gure kasuan, gure ordenagailu pertsonalak huts egin zuen. Hala eta guztiz ere, ez dugu egindako lanik galdu horretarako nahiko neurri hartu baititugu, segurtasun-kopiak maiz eta gailu desberdinetan eginez. Gainera, plangintzan ez dugu eguneraketa handirik egin, hortaz, helburuak betetzeko aukera izan dugu.

Hala ere, programazio arazoak ohikoak dira. Hasierako formalizazioa puntu garrantzitsua zen proiektu honetan, eta hori definitzeaz gain, inplementatzen hastea ataza konplexua izan da. Hala eta guztiz ere, hasiera batean kasu konkretuekin probak egin dira, programazio linealean trebatzeko. Ondoren, sistemari erdi-automatikoa izateko ahalmena gehitu zaio. Tresnak balio erantsia dauka: sarrerako parametroak aldatu eta soluzioak atera daitezke, aukera desberdinak konparatzeko asmoz.

Proba batzuetan, espero genituen hobekuntzak ez lortzea ere gertatu zaigu, murrizketa gehiegi gehitzean edo hauen artean eragina sortu dutenean. Kasu horretan, murrizketen inguruan beste ikuspuntu bat hartu da, betiere, gure helburua zein den argi izanik. Tarterko proba askotan ere gertatu zaigu emaitzetan hobekuntzarik ez lortzea, baina, hurrengo proba arrakastatsua prestatzeko asko bideratu gaituzte; beraz, proba guztiak izan dira baliagarriak.

6.5 Ebaluazio pertsonala

Atal honetan, proiektuaren egikaritzapenari eta egindako lanari buruzko ebaluazio pertsonala egin dugu.

- Egindako lanarekin gustora gaude. Proiektu luze bat aurrera eramateko gai izan gara, arazo handiegirik gabe, eta lortutako emaitzak positiboak dira. Gainera, emaitza (ordutegi) horiek onuragarriak direla uste dugu. Hala ere, hainbat hobekuntza egin daitezke sisteman, nahiz eta gure proiektutik kanpo gelditzen den.
- Sistemak eskaintzen dituen baliabideak kontuan hartuta, murriztapenak barne, aukera zabala dela esan dezakegu. Ekintzen eta taldeen definizioa egiteko era intuitiboa da, eta lortutako emaitzekin asetuta gelditu gara.
- Arazo larririk izan ez badugu ere, aurreko atalean ikusi dugun bezala, plangintzan aurreikusitako zenbait arrisku gertatu zaizkigu proiektuan. Hala ere, horientzako kontingentzia-plana prest zegoenez, oro har nahikoa izan da bertan azaldutakoari jarraitzea. Aurreikusi ez ditugun arazoen kasuan, zuzendariarekin bildu eta azkar eta arrakastaz jokatzen jakin dugu.

7. KAPITULUA

Ondorioak

Kapitulu honetan, proiektuan lortutako emaitzen berrikuspena egiten dugu. Gainera, etorkizunean egin litezkeen hobekuntzak edo jarraipen-lana aipatzen ditugu. Bestalde, ikasitako lezioak ere bertan aurki daitezke.

7.1 Lortutako emaitzak

Proiektuan zehar lortutako emaitzak ikusita, ondorio batzuk atera ditugu. Baina, nahiz eta aurreko ikasturterako emaitza posible bat eman, hurrengo ikasturterako emaitzarik lortzen dugun ikustea proiektuarentzat probetxuzkoa izan daiteke. Izan ere, ekainean, ikasleek hurrengo ikasturterako lehenengo aukeraketak egiten dituzte. Hala ere, lortutako emaitzetatik honakoak ondorioztatu ditugu:

Problema erreal bati ekin diogu

Proiektu honetan, problema erreal bati aurre egin diogu. *Axular Lizeoa* ikastolak duen egungo egoera oinarritzat, baliagarria izango den soluzio bat aurkitzera iritsi gara.

Ebazpen-metodoa erabiltzearen eragina

Literaturan dauden soluzioak aztertu eta gero, eredu lineal bat garatzea erabaki dugu. Programazio lineala erabiltzeak abantailak ematen ditu problema osatzean. Hala ere, pro-

blema hau lineala izateari utzi dakioke, eta ataza konplexuagoak burutu. Edonola, eredu lineala definitzea ulerterraza da inplementazioa azaltzeko garaian. Murrizketa bakoitzaren inplementazioa, aldiz, horren konplexutasunaren arabera joango da. Honekin guztiarekin, problema eredu lineal bidez adierazi eta ebatzi daitekeela erakutsi dugu.

Horretaz gain, ikasturteko datuei aplikatu ondoren, soluzio bideragarriak itzultzen dituela ikusi dugu. Are gehiago, ezarritako helburu-funtzioa optimizatzen duela ikusi dugu.

Murrizketen abantailak eta desabantailak

Eredu lineala programatzean, murrizketak erabili beharko ditugu. Gainera, eredu lineala izatean, helburu-funtzioan mugak jartzen ditu, eta, ondorioz, murrizketekin konpontzen saiatu gara. Ekintzen eta taldeen datuak bideragarriak badira, murrizketak bideragarriak izango direla espero dugu, eta, hortaz, baliozko emaitza lortu.

Helburu-funtzioa

Aipatu bezala, eredu lineala izateak mugak jartzen dizkio helburu-funtzioari. Hala eta guztiz ere, betiere, lehentasunak daude problema guztietan. Horrenbestez, lehentasun horiek kontuan izanik, helburu-funtzio logiko bat garatzea lortu da, murrizketak denbora guztian betez.

7.2 Etorkizunerako lana

Proiektuaren iraupenean zehar ahal beste egin badugu ere, sistema hobetzeko aukera ugari daude. Beraz, atal honetan etorkizun batean egin daitekeen lana azaltzen dugu, sistemaren ahalmena eta malgutasuna areagotuz:

Sistema hurrengo ikasturteko datuekin probatu

Axular Lizeoa ikastolak hurrengo ikasturtera begira jasotzen dituen datuak erabili ditza-kegu. Hau da, datu horiek hartu eta ikastolako arduradunarekin emaitzak aztertu, hobekuntzak edo zuzenketak gehitzeko.

Prototipo sinple bat garatu

Aurreko atalean aipatu dugunez, datu ugari fitxategien bidez definitzeak akatsak ekar ditzake. Horregatik, erakargarria den interfaze bat garatzea posible ikusten dugu, sistema honen aukera berberak ahalbidetuz, eta ikastolako arduradunari gauzak erraztuz.

Beste eredu-mota batzuk aztertu

Programazio linealarekin lan egitean gauza asko ikasi ditugu. Baina, betiere, konputazio alorrean, ideia asko daude buruan eta horiek guztiak betetzea ez da posible. Horregatik, ideia horiek aurrera eraman ahal izateko, eredu konplexuagoak eraiki daitezke. Esate baterako, eredu kuadratikoko baten bitartez, ikasleen arteko gatazkak minimizatu ahalko genituzke, murrizketen arabera egiten dugun bezala egin beharrean. Horrela, honen barnean, hainbat hobekuntza egin ditzakegu, hala nola, helburu-funtzioa hobetu.

Emaitzaren bistaratzea

Azkeneko hobekuntzatzat, lortutako emaitzen bistaratzea izango genuke, nahiz eta proiektu honen helburu nagusia ez izan; soluzioak aurkituko dituen algoritmoa diseinatzea da xede. Zerokoekin eta batekoekin lan egin dugunez, horien bistaratzeen adierazpena ulertzea erraza iruditu zaigu. Hala ere, beraiek erabiltzen dituzten taulak (edo guk emaitzak argiago ikusteko erakutsi ditugun taulak) itxura izango duten emaitzak lor genitzake. Horrek erakargarriagoa egingo zuen sistema, hasierako interfaze bat gehitzeak egiten duen antzera.

7.3 Ikasitako lezioak

Proiektuaren bizi-zikloan zehar ikasitako lezioak bi multzotan bana ditzakegu: orokorrak, informatikako proiektuetarako baliagarriak direnak, eta zehatzak, gure proiektuaren edukiei buruz ikasitakoak.

Orokorrak

Atal honetan, informatikako proiektuekin izan ditzakegun arazo orokorretatik ikasitako lezioak zerrendatzen ditugu.

- Informatikako proiektu guztietan bezala, programazioaren punturen batean blokea-

tuta gelditzeko arriskua dago. Konpontzeko modu bakarra denbora eskaintzea eta kideei laguntza eskatzea da. Ordea, baliteke kideek ere ezer ez ikustea eta, ondorioz, berriz leku berean gelditzea.

Hori dela eta, arazoa denbora labur batez alde batera uztea eta ondoren berriro hartzea lagungarria da, baita arazotzat identifikatzen ditugun atal txikiak berriro hutsetik inplementatzea ere. Esan beharrik ez dago proba desberdinak egiteak asko laguntzen duela, nahiz eta jakin proba horiek ez direla emaitza egokiak ematen dituztenak, arazoaren iturria bilatzen laguntzen baitute.

- Memoria idazteko garaian, nahiz eta guztia dokumentatuta izan, testu guztia egituratzea pisutsua da. Horregatik, prozesu osoa zein den badakigunez, memoriari ekin baino lehen, esan beharrekoaren egitura zehaztea komeni da. Modu honetan, atal bakoitzean zer sartu behar dugun jakinda, askoz errazagoa da idaztea egitea, gauza bakoitza behin eta berriz lekuz aldatzen ibiltzea baino.
- Hilabeteetan zehar osatzen den proiektu bat denez, hasieratik eguneroko bat eramatea lagungarria izan da, batez ere, memoria idaztean sortutako zalantzak argitzeko. Hala ere, egunerokoa nahiko baldar idatzi dut eta, ondorioz, zerbait zehatza bilatzeko momentuan zailtasunak izan ditut. Horregatik, egunerokoa modu ordenatuago batean idaztea komeni da, edo, behintzat, egun bakoitzeko informazioa pilatzeko estandar bat finkatzea (izenburua, data, hitz gakoak eta laburpena, adibidez).
- Gutxi ezagutzen dugun edo ezagutzen ez dugun sistema batekin lanean hasi behar dugunean, beharrezkoa da lehenik sistemaren ideia orokor bat egitea. Gainera, sistemak erabiltzen dituen algoritmoak lantzea nahitaezkoa da hasierako probak jarraitu eta funtzionamendua ulertu ahal izateko. Edonola ere, oinarri txiki bat hartu ondoren, sistema jakin baten barneko prozesua ikasteko modurik onena datu-base txiki batekin probak egitea eta pausoz pauso debugger-arekin jarraitzea da, momentu bakoitzean aldagaien balioak aztertuz eta agindu bakoitzean zer aldatzen den ikusiz.

Zehatzak

Hurrengo lerroetan, proiektu honen edukiei buruz ikasitakoak aipatzen dira.

- Proiektu osoa kontuan hartuta, konputazio alorreko optimizazio problema bati aurre egiten ikasi dugu.

- Benetako problema bat ebatzi dugu. Mundu errealean ematen den problema ulertu eta soluzioa bilatu dugu, horrek dakarren lan guztiari aurre eginez.
- Gaiari kokatzeko, hainbat artikuluen irakurketak eta ulermenak zer nolako zailtasuna duen ikusi dugu, eta, bestetik, problemaren definizioa argi eta garbi burutzea garrantzitsua dela ikasi dugu. Konputazio arazoan aurrean, problema ulertzeak pisu handia du, eta ataza horretan gogor jorrateak ondoren abantailak ematen dituela konturatu gara.
- Eredu linealari dagokionez, graduan ikasitakoa lanean jartzeak dakarrena ikasi dugu. Mundu errealeko problema baten aurrean aurkeztu gara, eta eskuragarri zeuden baliabideez lagunduta, problema aurrera eramanez dugu. Programazio lineala alor askotan aplikatu badaiteke ere, guk lan egindako atal honetan, funtzionatzen duela ikusi dugu. Horretarako, programazio linealak dituen pakete eta liburutegien irakurketa eta ulertzea burutu dugu.

Bibliografia

- [1] [COLLINS CONCISE, 1819] Collins Concise (1819). *Collins, Pioneers in dictionary publishing since 1819*, <http://www.collinsdictionary.com/dictionary/english/timetable>
- [2] [WILLEMEN, 2002] Willemen, R. (2002). *School Timetable Construction – Algorithms and Complexity*, PhD thesis, Eindhoven University of Technology, 2002.
- [3] [WREN, 1996] Wren, A. (1996). *Scheduling, Timetabling and Rostering – A Special Relationship? In the Practice and Theory of Automated Timetabling* ed. E.K. Burke and P. Ross, pp. 46-75, Springer-Verlag, 1996.
- [4] [SCHAERF, 1999] Schaerf, A. (1999). *A Survey of Automated Timetabling*, Dipartimento di Informatica e Sistemistica, Universita di Roma “La Sapienza”
- [5] [CARTER AND LAPORTE, 1996] Carter, M. W., Laporte, G., Lee, S. Y. (1996). *Examination timetabling: algorithmic strategies and applications*, The Journal of the Operational Research Society, 47(3), 373–383.
- [6] [ROMERO, 1982] B.P. Romero. (1982). *Examination scheduling in a large engineering school: A computer assisted participative procedure*, Interfaces, 12, pp 17-23.
- [7] [BURKE, 2005] R. Qu and E.K. Burke. (2005). *Hybrid variable neighbourhood hyper-heuristics for exam timetabling problems*, Electronic Proceedings of the 6th Meta-heuristics International Conference (MIC 05), Vienna, Austria.
- [8] [WERRA, 1985] D. de Werra. (1985). *An introduction to timetabling*. *European Journal of Operational Research*, 19, pp 151-162.
- [9] [CARTER AND LAPORTE, 1998] M.W. Carter and G. Laporte. (1998). *Recent developments in practical course timetabling*, The Practice and Theory of Automated

- Timetabling II: Selected Papers from 2nd International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling (PATAT II), Toronto, Canada, Lecture Notes in Computer Science 1408, Springer-Verlag. (Editors: E.K. Burke and M. Carter), pp 3-19.
- [10] [WERRA, 1996A] D. de Werra. (1996a). *Extensions of colouring models for scheduling purposes*, European Journal of Operational Research, 92, pp 474-492.
- [11] [WERRA, 1997B] D. de Werra. (1997b). *Theory and methodology: The combinatorics of timetabling*, European Journal of Operational Research, 96, pp 504-513.
- [12] [SOCHA, 2002] K. Socha, J. Knowles and M. Samples. (2002). *A max-min ant system for the university course timetabling problem*, The Proceedings of the 3rd International Workshop on Ant Algorithms (ANTS 2002), Lecture Notes in Computer science 2463, Springer-Verlag, pp 1-13.
- [13] [ABRAMSON, 1991] D. Abrason. (1991). *Constructing school timetables using simulated annealing: Sequential and parallel algorithms*, Management Science, 37(1), pp 98-113.
- [14] [MELICIO, 2006] Melicio F, Calderia JP, Rosa A (2006) *THOR: A Tool for School Timetabling*, In Burke EK, Rudova H (eds.): Proceedings of the 6th International Conference on the Practice and Teaching of Automated Timetabling (PATAT 2006), 532-535, ISBN 80-210-3726-1.
- [15] [BELIGIANNIS, 2008] Beligiannis GN, Moschopoulos CN, Kaperonis GP, Likothanassis SD (2008). *Applying Evolutionary Computation to the School Timetabling Problem: The Greek Case*, Computers and Operations Research, Vol. 35, 1265-1280, Elsevier.
- [16] [CALDIERA, 1997] Calderia JP, Ross AC (1997). *School Timetabling Using Genetic Search*, In the proceedings of the International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling (PATAT '97), 115-122.
- [17] [FILHO, 2001] Filho GR, Lorena LAN (2001). *A Constructive Evolutionary Approach to School Timetabling*, In Proceedings of the EvoWorkshops on Applications of Evolutionary Computing, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 2037, 130-139, Spring-Verlag.

- [18] [RAGHAVJEE, 2008] Raghavjee R, Pillay N (2008). *An Application of Genetic Algorithms to the School Timetabling Problem*, In Cilliers C, Barnard L, Botha RA (Eds.) Proceedings of SAICSIT 2008, 193-199, ACM Press.
- [19] [BELLO, 2008] Bello GS, Rangel MC, Boeres MCS (2008). *An Approach for the Class/Teacher Timetabling Problem*, In the proceedings of the 7th International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling (PATAT2008)
- [20] [JACOBSEN, 2006] Jacobsen F, Bortfeldt A, Gehring H (2006). *Timetabling at German Secondary Schools: Tabu Search versus Constraint Programming*, In Burke EK, Rudova H (Eds.): proceedings of the International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling (PATAT 2006), 439-442, ISBN 80-210-3726-1.
- [21] [SANTOS, 2005] Santos HG, Ochi LS, Souza MJF (2005). *A Tabu Search Heuristic with Efficient Diversification Strategies for the Class/Teacher Timetabling Problem*, Journal of Experimental Algorithms, Vol. 10, 2.9, ACM.
- [22] [SANTOS, 2008] Santos HG, Uchoa E, Ochi LS, Maculan N (2008). *Strong Bounds with Cut and Column Generation for Class-Teacher Timetabling*, In the proceedings of the 7th International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling (PATAT 2008), Montreal
- [23] [BIRBAS, 1997] Birbas T, Daskalaki S, Housos E (1997). *Timetabling for Greek High Schools*, Journal of the Operational Research Society, Vol. 48, No. 2, 1191-1200, December 1997.
- [24] [BIRBAS, 2009] Birbas T, Daskalaki S, Housos E (2009). *School Timetabling for Quality Student and Teacher Schedules*, Journal of Scheduling, Vol. 12, Issue 2, 177-197, April 2009, Kluwer Academic Publishers.
- [25] [VALOUXIS, 2003] Valouxis C, Housos E (2003). *Constraint Programming Approach for School Timetabling*, In Computers and Operations Research, Vol. 30, 1555-1572, Pergamon.
- [26] [MOURA, 2010] Moura AV, Scaraficci RA (2010). *A GRASP Strategy for a More Constrained School Timetabling Problem*, International Journal of Operational Research, Vol. 7, No. 2, 152- 170, 2010.
- [27] [KINGSTON, 2004] Kingston JH (2004). *A Tiling Algorithm for High School Timetabling*, In Practice and Theory of Automated Timetabling V, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 3616/2005, 208-225, Springer Berlin/Heidelberg.

- [28] [KINGSTON, 2006] Kingston JH (2006). *The KTS High School Timetabling Systems*, In Burke EK, Rudova H (Eds.): proceedings of the International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling (PATAT 2006), 181-195, ISBN 80-210-3726-1.
- [29] [ALVAREZ-VALDES, 1996] Alvarez-Valdes R, Martin G, Tamarit JM (1996). *Constructing Good Solutions for the Spanish School Timetabling Problem*, in the Journal of the Operational Research Society, Vol. 47, No. 10, 1203-1215.
- [30] [DE HAAN, 2007] de Haan P, Landman R, Post G, Ruizenaar H (2007). *A Four-Phase Approach to a Timetabling Problem for Secondary Schools*, In Burke EK, Rudova H (eds.) The Practice and Theory of Automated Timetabling VI, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 3867, 267-279, Springer-Verlag.
- [31] [SCHAERF, 1991] Schaerf A (1991). *Tabu Search Techniques for Large High-School Timetabling Problems*, Technical Report CS-R9611 1996, Computer Science/Department of Interactive Systems, Centrum Voor Wiskunder en Informatica (CWI), ISSN 0169-118X.
- [32] [KIRKPATRICK, 1983] S. Kirkpatrick, C. D. Gelatt, Jr., M. P. Vecchi (1983). *Optimization by Simulated Annealing*
- [33] [GWIAZDA, 2006] T.D. Gwiazda (2006). *Genetic algorithms reference Volume I Crossover for single-objective numerical optimization problems*. Number v. 1. Lightning Source, 2006.
- [34] [GLOVER, 1986] Fred Glover (1986). *Future paths for integer programming and links to artificial intelligence*. *Computers & Operations Research*, 13(5):533–549, 1986.
- [35] [SALKIN, 1975] Salkin, Harvey M. (1975). *Integer programming*
- [36] [ROSSI, 2006] F. Rossi, P. Van Beek, T. Walsh (2006). *Handbook of Constraint Programming*, Foundations of Artificial Intelligence.
- [37] [THOMAS, 1989] Thomas A Feo and Mauricio G.C Resende(1989). *A probabilistic heuristic for a computationally difficult set covering problem*. *Operations Research Letters*, 8(2):67 – 71, 1989.
- [38] [WOLF, 1991] Michael E. Wolf, Monica S. Lam (1991). *A data locality optimizing algorithm*.

-
- [39] [BERKELAAR, 2015] Berkelaar M. (2015). *Interface to 'Lp_solve' v. 5.5 to Solve Linear/Integer Programs*
- [40] [KONIS, 2016] Konis K. (2016). *R Interface to 'lp_solve' Version 5.5.2.0*
- [41] [GALILI, 2015] Galili T. (2015). *Modeling and Solving Linear Programming with R*
- [42] [DANTZIG, 1963] Dantzig G. B. (1963). *Linear Programming and extensions*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey
- [43] [VANDERBEI, 2014] Vanderbei R. J. (20154). *Linear Programming, Foundations and Extensions*, Princeton University, Princeton, New Jersey, USA

