

Escola Politècnica Superior

Universitat de Girona

Memòria del Treball de Final de Grau

Grau en Enginyeria Informàtica (GEINF), Pla 2011

Aplicació per a la identificació de cigales a partir d'una gravació del seu cant

Alumne: David Funosas Planas

Tutor: Ferran Torrent Fontbona

Convocatòria: Setembre del 2016

Índex

1	Introducció, motivacions, propòsit i objectius del projecte	8
1.1	Introducció	8
1.2	Motivacions	9
1.3	Pròpòsit i objectius	10
2	Estudi de viabilitat	12
2.1	Recursos tecnològics: Maquinari	12
2.2	Recursos tecnològics: Programari	13
2.3	Recursos humans	14
2.4	Viabilitat econòmica	14
3	Metodologia	17
4	Planificació	19
5	Marc de treball i conceptes previs	21
5.1	Context	21
5.2	Entorn de treball	21
5.3	Conceptes previs	22
6	Requisits del sistema	26
6.1	Requisits funcionals	26
6.2	Requisits no funcionals	26
7	Estudis i decisions	28
7.1	Maquinari	28
7.1.1	Ordinador	28
7.1.2	Telèfon mòbil	28
7.2	Llenguatges de programació	28
7.2.1	Java	28
7.3	Programari	30
7.3.1	Netbeans IDE 8.0 RC1	30
7.3.2	Matlab R2013b	33
7.3.3	WavePad	33
7.3.4	Android Studio	34
7.3.5	Visual Paradigm 13.0	34
7.3.6	TeamGantt	35
7.3.7	WinEdt 10.1	35

8 Anàlisi i disseny del sistema	36
8.1 Diagrama de casos d'ús i fitxes de cas d'ús	36
8.2 Diagrama de classes	41
8.3 Base de dades	43
9 Implementació i resultats	44
9.1 Feina prèvia a la implementació	44
9.2 Processament del fitxer de so i eliminació de soroll	46
9.3 Anàlisi dels cants	52
9.3.1 Durada del cant	53
9.3.2 Durada del silenci	54
9.3.3 Nombre de grups de polsos per segon	56
9.3.4 Freqüència	59
9.3.5 Altres paràmetres	61
9.4 Càlcul de semblances	64
9.4.1 <i>Cicada orni</i>	64
9.4.2 <i>Tibicina garricola</i>	67
9.5 Resultats	72
9.5.1 Identificació automàtica de cigales	72
9.5.2 Aplicació per a Android	101
10 Conclusions	105
11 Treball futur	106
12 Bibliografia	107
13 Agraïments	108

Índex de figures

1.1	Fotografia de <i>Tibicina haematodes</i>	8
1.2	Mapes dels registres de les diferents espècies de cigala a Catalunya	11
3.1	Esquema del model de desenvolupament de programari escollit	17
4.1	Diagrama de Gantt de la distribució temporal prevista per a totes les tasques del treball	20
5.1	Cants de <i>Tettigetta argentea</i>	23
5.2	Cants de <i>Cicadatra atra</i>	24
5.3	Cants de <i>Tibicina quadrisignata</i>	24
5.4	Distribucions freqüencials de cants de <i>Cicadatra atra</i>	25
7.1	Editor de codi del NetBeans	31
7.2	IntelliSense del NetBeans	31
7.3	Depurador del NetBeans	32
8.1	Diagrama de casos d'ús de l'aplicació	37
8.2	Diagrama de classes de l'aplicació	41
9.1	Fórmula d'Euler en un pla complex	47
9.2	Distribucions freqüencials de dos cants abans i després de ser filtrats	48
9.3	Filtre passabanda de Butterworth amb diferents ordres	49
9.4	Mostra de les amplituds respecte del temps dels cants de <i>Cicada orni</i> i de <i>Tettigetta pygmaea</i> mostrats a la Figura 9.2	51
9.5	Distribucions freqüencials de dos enregistraments amb més d'una espècie cantant ahora	52
9.6	Cant trencat de <i>Tibicina corsica fairmairei</i>	54
9.7	Grups de polsos d'un cant de <i>Tibicina tomentosa</i>	56
9.8	Grups de polsos de cants de cigales pertanyents al gènere <i>Tibicina</i>	57
9.9	Grups de polsos d'una <i>Tibicina garricola</i>	59
9.10	Distribucions freqüencials de cants de <i>Tibicina quadrisignata</i>	60
9.11	Cant de <i>Tettigetta pygmaea</i> amb batecs d'ales entre cada iteració	61
9.12	Cants de <i>Cicada barbara lusitanica</i>	62
9.13	Cants amb diferents tipus d'increment d'amplituds	63
9.14	Cant d' <i>Hilaphura varipes</i> amb iteracions més llargues i/o potents que la resta quan precedeixen un silenci més llarg	64
9.15	Cant de <i>Cicada orni</i> amb uns quants exemplars més cantant de fons	65
9.16	Fragment d'un cant de còpula de <i>Cicada orni</i>	66

9.17	Ampliació d'un cant trencat de <i>Tibicina corsica fairmairei</i>	67
9.18	Gràfics d'encerts i errors de la <i>Cicada orni</i>	90
9.19	Gràfics d'encerts i errors de la <i>Cicada barbara lusitanica</i>	90
9.20	Gràfics d'encerts i errors de la <i>Cicadatra atra</i>	90
9.21	Gràfics d'encerts i errors de la <i>Cicadetta brevipennis</i>	90
9.22	Gràfics d'encerts i errors de la <i>Cicadetta cerdaniensis</i>	91
9.23	Gràfics d'encerts i errors de la <i>Hilaphura varipes</i>	91
9.24	Gràfics d'encerts i errors de la <i>Lyristes plebejus</i>	91
9.25	Gràfics d'encerts i errors de la <i>Tettigettalna argentata</i>	91
9.26	Gràfics d'encerts i errors de la <i>Tettigettula pygmea</i>	91
9.27	Gràfics d'encerts i errors de la <i>Tibicina corsica fairmairei</i>	92
9.28	Gràfics d'encerts i errors de la <i>Tibicina garricola</i>	92
9.29	Gràfics d'encerts i errors de la <i>Tibicina haematodes</i>	92
9.30	Gràfics d'encerts i errors de la <i>Tibicina quadrisignata</i>	92
9.31	Gràfics d'encerts i errors de la <i>Tibicina tomentosa</i>	92
9.32	Semblances mitjanes en gravacions de <i>Cicada orni</i>	93
9.33	Semblances mitjanes en gravacions de <i>Cicada barbara lusitanica</i>	94
9.34	Semblances mitjanes en gravacions de <i>Cicadatra atra</i>	94
9.35	Semblances mitjanes en gravacions de <i>Cicadetta brevipennis</i>	95
9.36	Semblances mitjanes en gravacions de <i>Cicadetta cerdaniensis</i>	95
9.37	Semblances mitjanes en gravacions de <i>Hilaphura varipes</i>	96
9.38	Semblances mitjanes en gravacions de <i>Lyristes plebejus</i>	96
9.39	Semblances mitjanes en gravacions de <i>Tettigettalna argentata</i>	97
9.40	Semblances mitjanes en gravacions de <i>Tettigettula pygmea</i>	97
9.41	Semblances mitjanes en gravacions de <i>Tibicina corsica fairmairei</i>	98
9.42	Semblances mitjanes en gravacions de <i>Tibicina garricola</i>	98
9.43	Semblances mitjanes en gravacions de <i>Tibicina haematodes</i>	99
9.44	Semblances mitjanes en gravacions de <i>Tibicina quadrisignata</i>	99
9.45	Semblances mitjanes en gravacions de <i>Tibicina tomentosa</i>	100
9.46	Imatges de la pantalla principal de l'aplicació i de la informació i les instruccions d'ús de la mateixa	101
9.47	Llista i diferents mostres de fitxes d'espècies	102
9.48	Imatges corresponents a les pantalles d'enregistrament d'un fitxer de so i de resultats	103
9.49	Imatges de l'explorador de fitxers de l'aplicació	104

Índex de taules

2.1	Característiques tècniques de l'ordinador emprat per dur a terme el projecte	12
2.2	Característiques tècniques del mòbil usat més regularment per a les proves d'execució	13
2.3	Recursos tecnològics utilitzats per al treball	13
2.4	Hores invertides en cada grup de tasques	15
2.5	Amortització dels recursos tecnològics	15
8.1	Fitxa del cas d'ús "Analitzar un fitxer d'àudio al mòbil"	37
8.2	Fitxa del cas d'ús "Determinar l'espècie de cigala que canta al fitxer d'àudio seleccionat"	38
8.3	Fitxa del cas d'ús "Veure informació sobre una espècie de cigala"	38
8.4	Fitxa del cas d'ús "Realitzar un enregistrament de so i identificar el cant que conté"	39
8.5	Fitxa del cas d'ús "Visualitzar la informació referent a l'aplicació"	40
8.6	Fitxa del cas d'ús "Visualitzar les instruccions d'ús"	40
8.7	Fitxa del cas d'ús "Canviar l'idioma de l'aplicació"	40
9.1	Nombre de mostres de cada espècie	45
9.2	Durades dels cants de cada espècie	53
9.3	Durades dels silencis de cada espècie	55
9.4	Proporcions entre les durades de cant i de silenci de cada espècie	55
9.5	Nombre de grups de polsos per segon de cada espècie del gènere <i>Tibicina</i>	56
9.6	Rang de freqüències d'emissió de cada espècie	59
9.7	Rangs generals i habituals dels pics de freqüència de cada espècie del gènere <i>Tibicina</i>	61
9.8	Criteris d'identificació d'una <i>Cicada orni</i>	64
9.9	Criteris d'identificació d'una <i>Tibicina garricola</i>	68
9.10	Resultats d'identificació obtinguts	87
9.11	Llegenda dels colors de la Taula 9.10	87
9.12	Correspondència de cada espècie amb el seu codi 6	88
9.13	Taula d'encerts i errors basats en l'espècie per a la qual s'ha trobat un millor nivell de semblança a cada fitxer	89

Índex d'algorismes

9.1	Filtre passabanda de freqüències	49
9.2	Diferenciació entre les durades dels cants de <i>Cicadetta cerdaniensis</i> i <i>Tettigetta</i> <i>argentata</i>	70
9.3	Diferenciació entre les durades dels silencis entre cants de <i>Cicadetta cerdaniensis</i> i <i>Tettigetta</i> <i>argentata</i>	71
9.4	Diferenciació entre les freqüències d'emissió dels cants de <i>Cicadetta cerdaniensis</i> i <i>Tettigetta</i> <i>argentata</i>	71
9.5	Diferenciació entre les proporcions de silenci en cants de <i>Cicadetta cerdaniensis</i> i <i>Tettigetta</i> <i>argentata</i>	72

Capítol 1

Introducció, motivacions, propòsit i objectius del projecte

1.1 Introducció

Les cigales (Cicadidae) són una família d'insectes de l'ordre dels hemípters, la característica més distintiva de la qual és el potent cant que els mascles emeten per atraure les femelles. A banda d'això, també es caracteritzen per les seves llargues ales membranoses, els ulls prominents a banda i banda del cap i les seves curtes antenes.

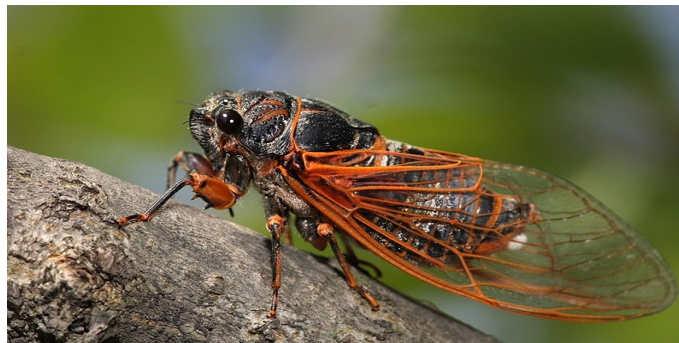


Figura 1.1: Fotografia de *Tibicina haematodes* (Cosmin Ovidiu)

Una altra particularitat d'aquests insectes és el seu llarg cicle biològic que, lluny del que es pugui pensar pel fet de sentir-les només durant l'estiu, dura diversos anys. Després d'haver sortit de l'ou i haver dut a terme la seva primera muda, la larva s'amaga sota terra, on viurà durant anys alimentant-se de la sava de les arrels d'un arbre o arbust amb l'ajuda del seu aparell bucal xuclador. Havent acabat aquesta etapa, quan la temperatura del sòl indiqui que ja arriba l'estiu, la larva sortirà a la superfície, s'enfilirà per una herba o tronc i farà la seva última muda abans d'arribar a la seva fase adulta (imago). És en aquesta fase quan els mascles intenten cridar l'atenció de les femelles amb cants nupcials i emeten el típic brunzit repetitiu característic de l'estiu.

Els cants de les cigales, a diferència dels dels ortòpters, no són produïts per un fregament de

dues parts del seu cos, sinó per òrgans especialitzats, els timbals. Aquests aparells consisteixen en dues plaques corbades situades a l'abdomen, a partir de les quals es genera el so en contraure bruscament, repetida i ràpida els músculs que tenen connectats. Aquests moviments provoquen una deformació de les plaques, la qual cosa produeix un so que, repetit diversos centenars de vegades per segon i amplificat posteriorment en una caixa de ressonància, origina el seu cant.

Tal com passa amb els ocells, els individus cantors de cigala sempre són mascles, ja que l'objectiu del cant és atraure les femelles per reproduir-se. Aquestes, al seu torn, reben les emissions dels mascles a través dels timpans i són capaces de distingir el cant de la seva pròpia espècie del de la resta. Les dissemblances entre els cants de les diferents espècies són diàfanos en alguns casos i imperceptibles per a l'oïda humana en d'altres. Tanmateix, es pot diferenciar totes les espècies d'una manera o d'una altra mitjançant l'anàlisi informàtica del cant, sempre que la qualitat de l'enregistrament així ho permeti, i això és precisament el que ofereix l'aplicació que s'ha desenvolupat com a treball de final de grau.

1.2 Motivacions

Les cigales són un grup taxonòmic encara molt desconegut per a nosaltres, tant a Catalunya com a Europa en general. La seva poca vistositat, combinada amb el seu cant per a molts malagradós i el fet que sense conèixer-lo difícilment se les pot detectar, fan que la seva popularitat entre naturalistes i biòlegs sigui molt inferior tant a la de la majoria de craniats com a la d'altres grups d'artròpodes, com poden ser els ropalòcers o els odonats. És per això que a molts països d'Europa, Catalunya inclosa, la informació sobre la seva distribució és molt limitada, i pràcticament desconeguda per a les espècies menys comunes.

L'única llista existent d'espècies de cigala a Catalunya data del 1920 i, a part de ser força incompleta, utilitza una taxonomia actualment obsoleta. És per això que el Grup de Recerca en Biologia Animal de la Universitat de Girona està treballant en la confecció d'un nou mapa de distribució de les poblacions de les diferents espècies de cigala a Catalunya, basant-se en les observacions confirmades fins al moment i en les dades que ja ha començat a aportar la ciència ciutadana.

Els mapes de la Figura 1.2, com es pot comprovar, són clarament incomplets per a totes les espècies, que amb total seguretat tenen una distribució més àmplia de la que aquests mostren. Així mateix, també hi ha quatre espècies de cigala (*Cicada barbara*, *Cicadetta cerdaniensis*, *Tettigettula pygmea* i *Tibicina corsica*) que encara no s'ha trobat a Catalunya però, bé perquè n'hi ha al sud de França, bé perquè n'hi ha al nord del País Valencià, cal cercar-les a Catalunya per comprovar si les seves poblacions s'estenen també pel nostre país.

D'altra banda, l'única manera viable de mostrejar tot el nostre territori és mitjançant la ciència ciutadana, és a dir, a través de la col·laboració de naturalistes tant aficionats com experimentats que comparteixin les seves observacions, en aquest cas utilitzant la plataforma www.ornitho.cat. És per això que es va considerar que una aplicació que permetés identificar les cigales al camp de manera simple i intuïtiva podia suposar una ajuda important de cara a aconseguir més contribucions i a augmentar-ne la fiabilitat.

1.3 Pròpòsit i objectius

L'objectiu del projecte consisteix a desenvolupar una aplicació per a Android que permeti enregistrar una cigala que estigui cantant i, mitjançant l'anàlisi del fitxer de so obtingut, determini de quina espècie de cigala es tracta. Les espècies que es tindrà en compte són totes les que es pugui trobar a Catalunya, incloent-hi tant les que ja s'hi ha detectat algun cop com aquelles de les quals no n'hi ha cap observació coneguda però no se'n descarta la presència en alguna regió. Les espècies incloses són, per tant: *Cicada orni*, *Cicada barbara* (ssp. *lusitanica*), *Cicadatra atra*, *Cicadetta brevipennis*, *Cicadetta cerdaniensis*, *Hilaphura varipes*, *Lyristes plebejus*, *Tettigettalna argentata*, *Tettigettula pygmea*, *Tibicina corsica* (ssp. *fairmairei*), *Tibicina garricola*, *Tibicina haematodes*, *Tibicina quadrisignata* i *Tibicina tomentosa*.

L'aplicació ha de ser capaç de distingir, si les condicions de l'enregistrament així ho permeten, qualsevol de les espècies anteriorment llistades, tant aquelles que es pot diferenciar auditivament sense problemes com aquelles per a les quals es necessita una anàlisi informàtica per poder identificar-les. La idea és, per tant, que pugui ser útil tant per al públic sense coneixements dels cants, per als quals la identificació de qualsevol espècie pot ser una ajuda, com per a experts que, malgrat conèixer els cants, sentin una cigala del gènere *Tibicina* (impossibles d'identificar incontrovertiblement emprant tan sols el nostre sentit auditiu) i no aconseguixin visualitzar-la.

Quant a la interacció amb l'usuari, l'aplicació ha de ser simple i intuïtiva, i ha de permetre, amb només uns pocs clics, realitzar un enregistrament de so i analitzar-lo. Un cop finalitzada la gravació, el fitxer resultant serà processat i es donarà un resultat, el qual constarà, en cas que s'hagi pogut identificar el cant amb èxit, del nom de l'espècie a la qual pertany l'individu gravat i del nivell de semblança entre el cant enregistrat i el de l'espècie en qüestió. En cas que s'hagi trobat coincidències amb dues espècies, totes dues seran mostrades amb els seus respectius nivells de semblança (per exemple: *Tibicina garricola*: 97%, *Tibicina quadrisignata*: 18%).

L'aplicació també ha d'oferir la possibilitat de consultar les característiques principals de cada espècie, així com exemples de gravacions nítides del seu cant, amb la intenció d'ajudar a l'usuari a poder identificar-les pel seu compte. Quant als idiomes, el català serà la llengua per defecte, però s'oferirà també la possibilitat d'utilitzar l'aplicació en anglès, castellà o francès, amb l'objectiu de fer-la accessible a la pràctica totalitat dels observadors de fauna a Catalunya.

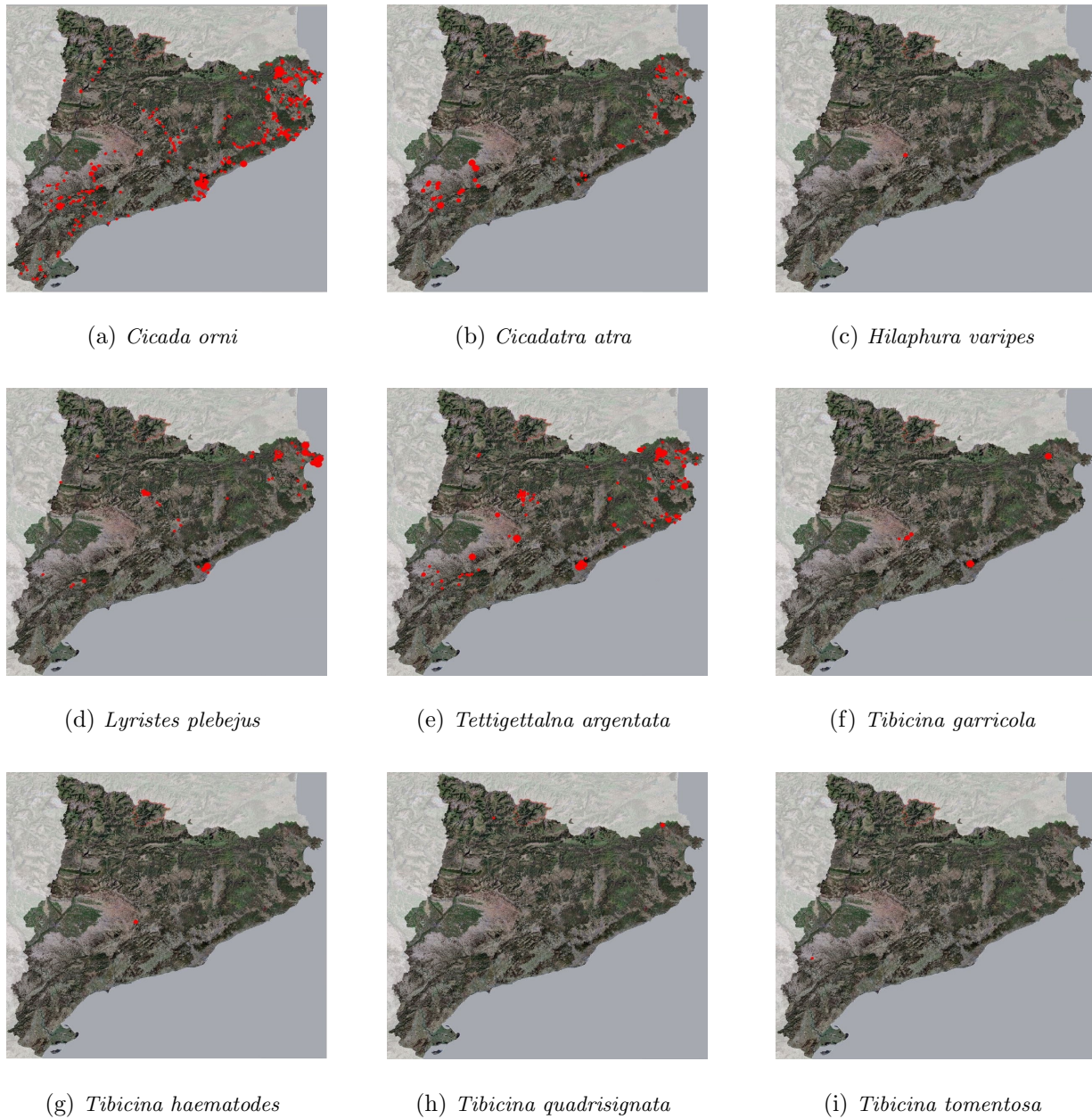


Figura 1.2: Mapes dels registres de les diferents espècies de cigala a www.ornitho.cat

Capítol 2

Estudi de viabilitat

En aquest capítol s'exposa els recursos, ja siguin tecnològics o humans, necessaris per dur a terme aquest projecte. D'aquesta manera, es pot tenir una idea del cost global del desenvolupament de l'aplicació i, restant-ho a l'estimació de recaptació de la mateixa, es pot determinar una aproximació de la seva viabilitat econòmica.

2.1 Recursos tecnològics: Maquinari

Els recursos pertanyents a aquest apartat són realment simples, ja que no es requereix cap eina tecnològica fora d'un ordinador, obviant, evidentment, la connexió a internet. La Taula 2.1 mostra les característiques de l'ordinador que s'utilitzarà.

Processador	Intel(R) Core(TM) i7-4702MQ, 2.2 GHz
Memòria RAM	8 GB
Disc dur	680 GB
Sistema operatiu	Windows 10 Home, x64

Taula 2.1: Característiques tècniques de l'ordinador emprat

Per a les proves d'execució de l'aplicació per a mòbil, tot i poder fer servir un simulador, sí que és imprescindible un telèfon intel·ligent amb sistema operatiu Android per poder provar el seu funcionament al camp. En aquest cas s'utilitzarà diversos telèfons mòbils de diferents marques, models, mides de pantalla i versions del sistema operatiu Android per assegurar la compatibilitat i el correcte funcionament de l'aplicació en diferents dispositius. Tot i això, es farà la majoria de les proves i simulacions amb un mateix telèfon, les característiques tècniques principals del qual són descrites a la Taula 2.2.

Processador	ARM Cortex-A7, 1300 MHz, 4 nuclis
-------------	-----------------------------------

Processador gràfic	ARM Mali-400 MP2, 416 MHz, 2 nuclis
Memòria RAM	512 MB
Memòria interna	4 GB
Sistema operatiu	Android 4.4.2 KitKat

Taula 2.2: Característiques tècniques del mòbil usat més regularment per a les proves d'execució

2.2 Recursos tecnològics: Programari

El treball consta de dues parts: la primera és la que conforma el gruix del mateix, i consisteix en la implementació de l'anàlisi dels cants i la posterior identificació de l'individu cantor, mentre que l'última, i menys important atesa la seva relativa facilitat, és el desenvolupament de l'aplicació mòbil que permeti, com a principal funcionalitat, utilitzar el sistema d'identificació implementat a la primera part. La Taula 2.3 conté els recursos tecnològics principals dels quals s'ha fet ús a cada una d'aquestes parts.

Recurs	Primera part	Segona part
Llenguatge de programació	Java, JDK 1.7	Java, JDK 1.7
IDE	NetBeans IDE 8.0 RC1	Android Studio
Programes auxiliars	Matlab R2013b, WavePad	-

Taula 2.3: Recursos tecnològics utilitzats per al treball

Tant en el cas del llenguatge de programació com en el dels entorns integrats de desenvolupament, s'ha escollit aquells amb els quals es partia d'una certa experiència. S'ha tingut en compte, evidentment, que aquests proporcionin les eines necessàries per a la implementació que s'haurà de dur a terme i que el codi implementat a la primera part es pugui incorporar sense problemes a l'aplicació per a Android.

Quant als programes auxiliars, s'utilitzarà el WavePad per analitzar els enregistraments de cants de cigala, amb l'objectiu de poder detectar diferències tan diagnòstiques com sigui possible entre els cants de les diferents espècies de cigala que es tractarà. Així mateix, també serà útil per avaluar, observant la representació gràfica de les amplituds en funció del temps per als fitxers dels quals es disposarà, el nivell de correctesa dels paràmetres obtinguts a l'anàlisi del cant que faci l'aplicació. S'ha seleccionat aquesta eina perquè tan sols es necessita un programa complet, precís i gratuït que pugui resoldre aquestes necessitats, requeriments amb els quals el WavePad encaixa perfectament.

L'altre programa del qual es farà ús és el Matlab, sobretot per fer proves amb l'espectre freqüen-

cial dels cants i la transformada de Fourier, així com per determinar la millor manera d'eliminar el soroll dels enregistraments. El Matlab ha estat considerat idoni principalment per dos factors: és una eina realment potent que permetrà realitzar totes les operacions matemàtiques que es necessita amb els fitxers de so en qüestió i, a més, ja es compta amb força experiència treballant-hi, amb la qual cosa el seu ús no requerirà cap procés d'aprenentatge previ.

2.3 Recursos humans

Per a aquest projecte tan sols són necessaris quatre rols: el d'analista, el de dissenyador, el de traductor i el de programador. L'analista és el que s'ha d'encarregar d'estudiar els requeriments de l'aplicació i decidir, a partir d'aquí, com s'estructurarà internament i quina funcionalitat tindrà cadascuna de les seves parts. El dissenyador, tal com el seu nom indica, serà l'encarregat de dissenyar la interfície de l'aplicació mòbil, amb l'objectiu que sigui intuïtiva i tingui una aparença acceptable, i al traductor li correspondrà la tasca de traduir l'aplicació als idiomes castellà, anglès i francès.

El programador, al seu torn, serà l'encarregat d'implementar tot el codi necessari perquè l'aplicació funcioni, atenint-se al disseny decidit per l'analista. El programador ha de dominar el llenguatge de programació Java, així com els entorns de desenvolupament necessaris per a la programació en aquest llenguatge i el desenvolupament de l'aplicació per a Android, però a part d'això també necessita coneixements avançats d'anàlisi i processament de so. En aquest cas, la responsabilitat de totes quatre parts recau en la mateixa persona, òbviament l'autor del treball, però es compta també amb el suport del tutor pel que fa a aquest últim punt, perquè pugui guiar l'autor en la implementació de la transformada de Fourier i en l'eliminació del soroll dels fitxers de so.

2.4 Viabilitat econòmica

El primer que cal tenir en compte en aquest apartat és el cost que s'estima que tindrà el desenvolupament complet de l'aplicació. Havent determinat els recursos dels quals es farà ús a les seccions anteriors, només falta l'aproximació d'hores que es considera necessàries de cada un. Aquestes aproximacions són les que es mostra a la Taula 2.4.

Concepte	Rol	Preu/hora	Hores	Cost
Estudi dels requeriments de l'aplicació i disseny de la seva estructura	Analista	18€	5	90€
Obtenció de gravacions de cigales i anàlisi de les seves característiques	-	8€	35	280€
Implementació de l'eliminació automàtica del soroll als enregistraments	Programador	12€	45	540€
Implementació de l'anàlisi del fitxer de so i extracció de paràmetres del cant	Programador	12€	340	4080€

Implementació del sistema d'identificació i proves d'execució	Programador	12€	110	1320€
Disseny de la interfície de l'aplicació mòbil	Dissenyador	12€	2	24€
Desenvolupament de l'aplicació per a Android	Programador	12€	100	1200€
Redacció de les descripcions de les espècies de cigala tractades, incloent-hi identificació, hàbitat, fenologia i cant	-	8€	8	64€
Obtenció de fotografies de cigala per a l'aplicació, incloent-hi tant la imatge de referència de cada espècie com les necessàries per il·lustrar-ne els trets distintius	-	8€	4	32€
Traducció de l'aplicació per a Android als idiomes castellà, anglès i francès	Traductor	8€	10	80€
Total			659	7710€

Taula 2.4: Hores invertides en cada grup de tasques

Quant a l'amortització dels recursos tecnològics, no s'ha de tenir en compte el programari que s'utilitzarà, atès que és tot gratuït, però sí les hores d'ús del maquinari. Per a aquest càlcul s'estimarà, d'una manera molt general, el temps d'ús de cada dispositiu per a aquest projecte, el seu cost monetari i el temps de vida aproximat que se li dona en fabricar-lo. Es pot observar aquestes estimacions a la Taula 2.5.

Dispositiu	Preu d'adquisició	Temps d'ús	Vida aproximada	Valor amortització
Ordinador portàtil	780€	7 mesos	120 mesos	46€
Telèfon mòbil	50€	1 mes	60 mesos	1€
Total				47€

Taula 2.5: Amortització dels recursos tecnològics

A més d'aquest valor, també cal sumar al cost els 22 euros aproximats que costa donar-se d'alta com a desenvolupador a Google per poder pujar aplicacions a Google Play, amb l'objectiu que tothom qui vulgui pugui descarregar la que s'ha desenvolupat per a aquest projecte. Per tant, sumant els 7710€ de despesa en personal, els 47€ d'amortització de maquinària i aquests 22€, s'obté una aproximació del cost total del projecte: **7779€**.

Un cop estimat l'import de la despesa que suposarà el desenvolupament d'aquest projecte, només queda avaluar quin nivell de recaptació econòmica pot reportar. És evident que el potencial

de recaptació d'aquesta aplicació és pràcticament nul, si no nul directament, i no és plausible que es financi gràcies a la seva venda al públic. Cal tenir en compte que, malgrat que hi hagi molts naturalistes a Catalunya, només els veritablement interessats en les cigales poden estar disposats a pagar per poder disposar d'aquesta aplicació, la qual cosa redueix els potencials clients a no més de quatre o cinc.

D'altra banda, també és obvi que l'objectiu d'aquest projecte no és la seva viabilitat econòmica, sinó fer una aportació a la comunitat ajudant a conèixer millor la distribució d'aquests fascinants hemípters al nostre territori. És per aquest motiu que ni la descàrrega ni l'ús de l'aplicació requiriran pagaments de cap tipus.

Capítol 3

Metodologia

La metodologia que s'ha decidit utilitzar no encaixa de manera exacta amb cap dels principals models de desenvolupament de programari, ja que el que es pretén és seguir un sistema que s'adeqüi el màxim possible a les necessitats del projecte i a les circumstàncies en què es desenvolupa. Tot i això, el procediment que se seguirà coincideix bastant amb el procés de desenvolupament iteratiu, això sí, sense fase d'avaluació i ús per part del client, atès que no n'hi ha. L'esquema en el qual es basarà el desenvolupament és el que mostra la Figura 3.1.

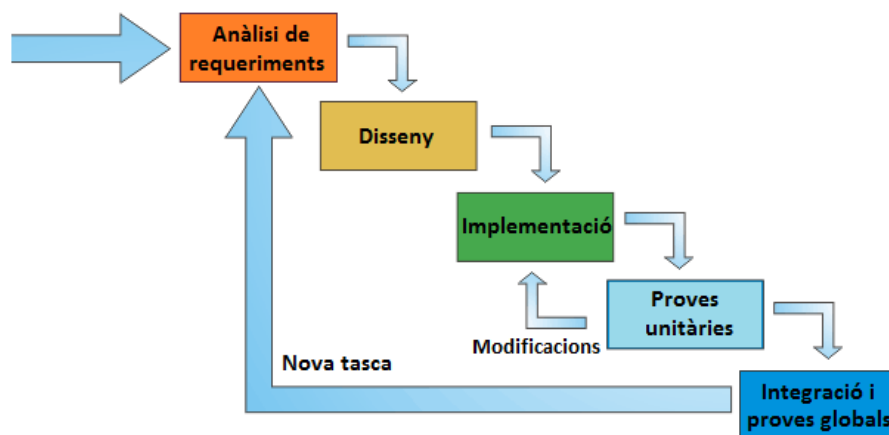


Figura 3.1: Esquema del model escollit

La idea és tan bàsica com lògica: es tracta d'anar començant, desenvolupant i completant les tasques de manera unitària i, un cop comprovat el correcte funcionament d'una funcionalitat implementada, incorporar-la al procés global de l'aplicació. Un exemple d'aquest procediment seria el següent:

1. Analitzant els cants de totes les espècies de cigala, es comprova que hi ha un patró que és totalment diagnòstic de l'espècie X.
2. S'estudia i es decideix quina és la manera més fiable de determinar si el cant que s'analitza respon al patró en qüestió. El mètode ha de ser resistent al soroll.

3. S'implementa la tècnica escollida per poder detectar si un cant compleix aquesta característica. S'ha d'evitar els falsos positius i minimitzar tant com sigui possible els falsos negatius.
4. Es realitza proves amb tots els fitxers dels quals es disposa, tant els de l'espècie X, pels quals es vol que el resultat sigui positiu, com els de la resta d'espècies, pels quals s'espera el contrari.
5. En cas que en alguns cants la solució no sigui correcta, s'esbrina què ha fallat i, un cop detectat el problema, es modifica la implementació per resoldre'l. Es repeteix el procés d'implementació i proves fins que el nivell d'encert sigui satisfactori.
6. S'afegeix la implementació al codi global, juntament amb l'anàlisi dels altres paràmetres del cant, i s'integra a la determinació de certes característiques resultants de la pertinença combinada dels valors de diversos paràmetres a uns rangs concrets. Amb això fet, només queda realitzar més proves per constatar fins a quin punt milloren (o no) els resultats globals després d'aquesta incorporació.

Capítol 4

Planificació

La decisió d'emprendre aquest projecte com a treball de final de grau sorgeix l'estiu del 2015 i, tot i que a principis de setembre ja es tenia una idea general de la planificació que se seguiria, no és fins a l'1 de febrer del 2016 que es comença a analitzar formalment les tasques que s'haurà de dur a terme i les hores de feina que cadascuna d'aquestes requerirà. La proposta de projecte tot just va ser acceptada a finals de març, però des de l'1 de febrer ja es disposava de temps per dedicar al treball i s'havia trobat un tutor que hi podia ajudar, de manera que, amb la previsió que aquesta rebria finalment l'aprovació, es va elaborar una planificació del desenvolupament de l'aplicació i es va començar a treballar-hi el mateix dia.

La divisió del projecte en etapes, així com les tasques pertinents a cada una d'aquestes, va resultar molt evident des del principi, i s'ha mantingut invariable al llarg de tot el desenvolupament, tot i que sí que han variat substancialment les durades previstes. L'esquema és el següent:

1. Organització i disseny de l'estructura interna de l'aplicació
2. Obtenció d'un nombre suficient de gravacions de cants per a cada espècie de cigala, en part mitjançant la col·laboració de diversos cigalòlegs europeus
3. Estudi de la informació ja existent sobre la diferenciació dels cants d'algunes espècies de cigala
4. Anàlisi pròpia per determinar la fiabilitat dels caràcters descrits per a aquests cants i per detectar-hi possibles patrons addicionals
5. Anàlisi per identificar totes les característiques intrínseques mínimament diagnòstiques a la resta de cants
6. Estudi de les bases de l'eliminació de soroll en fitxers de so i de les operacions matemàtiques necessàries per dur-la a terme
7. Desenvolupament d'una tècnica d'eliminació de soroll adaptada a les necessitats pròpies de l'aplicació, que detecti de manera automàtica els l·lindars freqüencials del so excloïble per a cada fitxer
8. Implementació del processament dels fitxers de so, l'anàlisi dels cants que contenen i l'extracció de característiques d'aquests
 - 8.1 Anàlisi freqüencial i extracció de característiques basades en els valors de freqüència

8.2 Anàlisi d'amplituds i extracció de característiques basades en els valors d'amplitud

9. Implementació d'un sistema d'identificació que, basant-se en els paràmetres obtinguts a partir del cant, determini el nivell de semblança del cant en qüestió amb el de cada una de les espècies tractades
10. Proves d'execució per comprovar el correcte funcionament de l'anàlisi del cant, la concordança entre els valors trobats i els reals i la fiabilitat i generalitat dels resultats d'identificació
11. Desenvolupament de l'aplicació per a Android
12. Redacció de la memòria del treball

Quant al repartiment d'aquestes tasques, es va conjeturar dues possibles distribucions temporals. La primera versió era més optimista, i preveia haver-les finalitzat totes abans de la data d'entrega de la convocatòria del mes de juny, mentre que la segona, més realista, allargava la durada del treball fins a la següent convocatòria, a principis de setembre. La planificació que es mostra la Figura 4.1, mitjançant un diagrama de Gantt, correspon a aquesta segona previsió, que és la que s'ha acabat imposant.

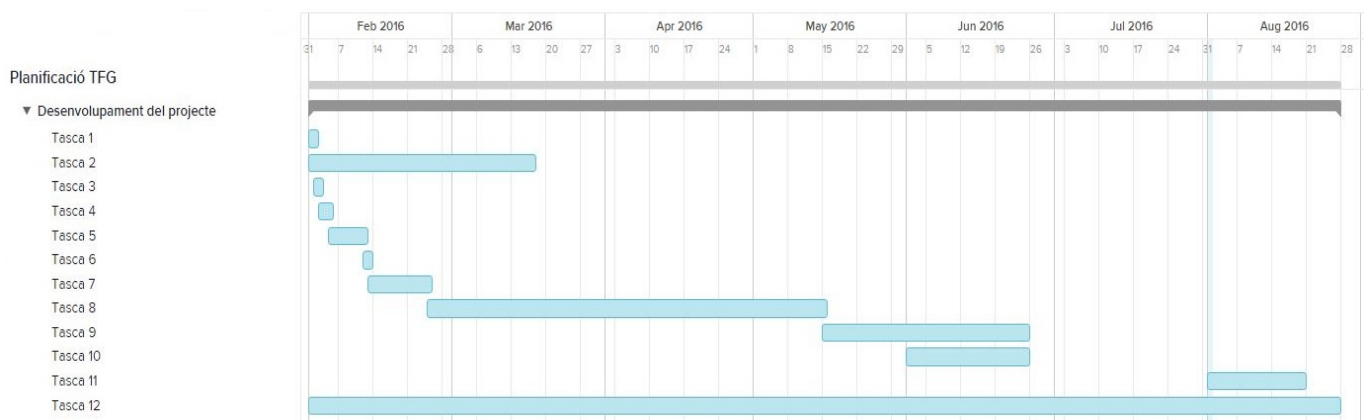


Figura 4.1: Diagrama de Gantt de la distribució temporal prevista per a totes les tasques (llegenda a la pàgina 19)

Capítol 5

Marc de treball i conceptes previs

5.1 Context

El contingut d'aquest treball s'emmarca dins del context d'aplicacions mòbils de reconeixement de sons a partir de l'anàlisi de fitxers d'àudio. Aquest és un àmbit considerablement reduït atès que, fora dels sistemes de reconeixement de veu, amb prou feines té aplicacions rendibles. Si, concretant més, s'entra en el reconeixement de sons de fauna, els assoliments fins ara són més aviat escassos. Tot el que es va poder trobar referent a aquest camp són quatre aplicacions: tres de reconeixement de cants d'ocells i una per a una espècie de cigala, la *Cicadetta montana*.

Tanmateix, tant per al reconeixement de cants d'ocells com per al de cants de cigales hi ha molt camp per recórrer. Pel que fa les tres primeres aplicacions, la fiabilitat assolida era sens dubte insuficient per confirmar la identificació de cap o quasi cap espècie. Val a dir, però, que els ocells, malgrat ser sovint més fàcilment reconeixibles auditivament, són clarament més difícils d'identificar informàticament que les cigales, atesa l'elevada variació melòdica dels cants de la majoria de passeriformes. Quant a la quarta, es tractava d'una aplicació de reconeixement d'una sola espècie que permetia realitzar un enregistrament i saber si n'hi havia algun individu cantant a prop.

És per això que el projecte desenvolupat per a aquest treball de final de grau, en ser el primer que permet identificar totes les espècies de cigala potencialment presents en una regió, representa una novetat en aquest domini. El fet de dur a terme un projecte pioner implica, això sí, no disposar de documentació prèvia, en aquest cas pel que fa a tècniques de reconeixement automàtic de cigales.

5.2 Entorn de treball

En aquest apartat cal distingir dos entorns de treball diferents, el primer corresponent a la part purament d'identificació del mascle cantor enregistrat i el segon concernent al desenvolupament de l'aplicació per a Android.

El primer entorn és aquell en el qual s'ha emmarcat les tasques 7, 8, 9 i 10 (llegenda a la pàgina 19), i consisteix en l'entorn de desenvolupament integrat NetBeans 8.0 RC1 i el llenguatge de programació Java, amb la versió Java Standard Edition Development Kit 7. Quant a les llibreries,

només s'ha fet usdefruit de les pròpies del llenguatge, concretament *java.util* i *java.io*.

Per a la tasca 11 s'ha fet servir un entorn de desenvolupament diferent, l'Android Studio, atès que l'objectiu en aquest cas no tenia relació amb la identificació de cigales sinó amb la simple implementació d'una aplicació per a telèfons mòbils amb sistema operatiu Android. El llenguatge de programació utilitzat, això sí, ha estat el mateix que a la primera part del treball: la versió 1.7 de Java.

Com a informació complementària, durant la primera fase (tasques 4, 5 i 6) també s'ha emprat altres programes, no per a la implementació del projecte sinó per a la feina prèvia d'anàlisi i investigació. Aquests són el Matlab R2013b, per a la investigació sobre l'anàlisi freqüencial dels fitxers de so i l'eliminació del soroll d'aquests, i el WavePad, per a l'estudi de les propietats inherents a cada model de cant i per determinar la correspondència entre els valors reals i els trobats a l'aplicació desenvolupada per a cada un dels paràmetres analitzats.

5.3 Conceptes previs

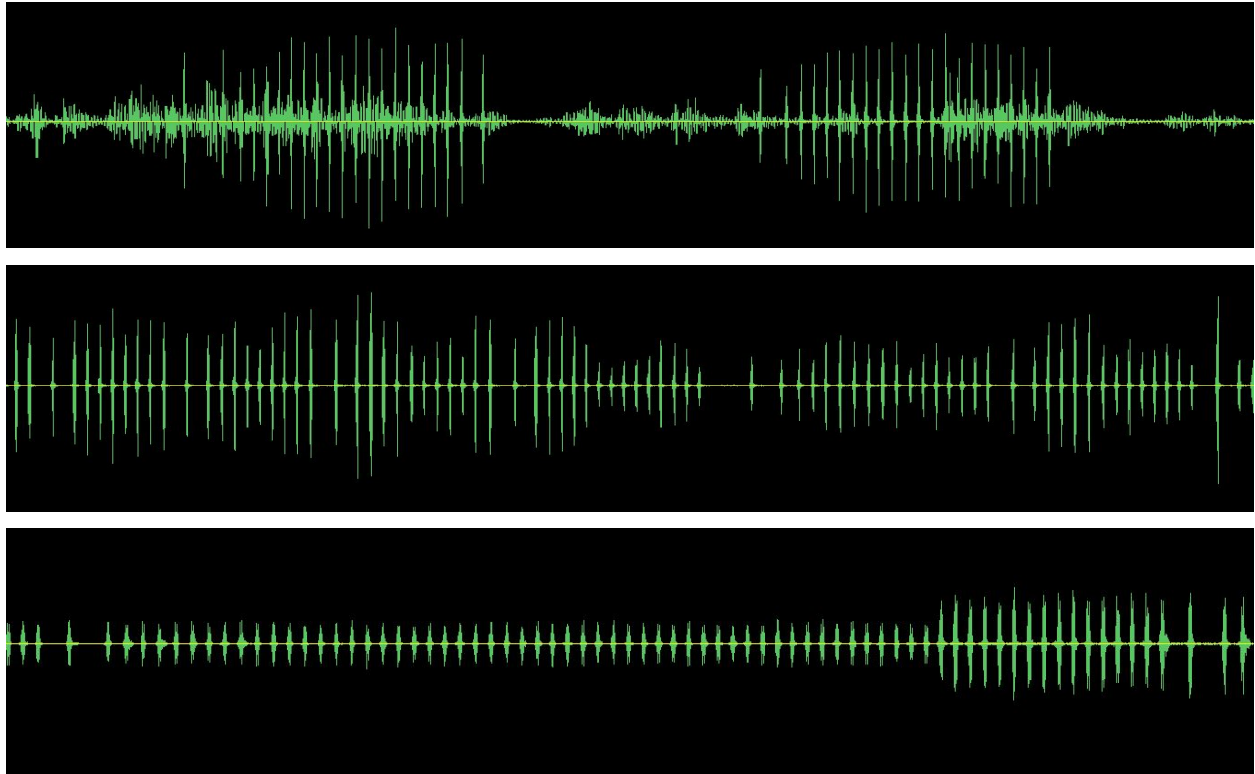
Per poder comprendre plenament el contingut d'aquest treball és necessari comptar amb certs coneixements previs sobre el cant de les cigales, els quals s'introduirà a continuació.

El primer que cal saber és que cada espècie pot tenir més d'un model de cant. Hi ha espècies que canten sempre d'una manera molt semblant i d'altres el cant de les quals presenta variacions substancials en funció de l'objectiu amb què emeten el so o de la situació en què estan cantant. Pot ser, per exemple, que el cant de contacte d'una espècie, el qual emeten els mascles per contactar les femelles, tingui poc a veure amb el cant de festeig, que serveix per festejar la potencial parella un cop ja han entrat en contacte. El cant també pot sonar diferent, normalment més lent, en situació d'inquietud davant d'algun possible perill, o fins i tot quan s'intenta foragitar un altre mascle si aquest s'acosta massa. Així mateix, la temperatura ambient també pot influir en el cant, ja que, com més calor fa, més alta sol ser la seva freqüència d'emissió.

Es pot comprovar que la *Tettigetta argentea* (Figura 5.1) emet un cant altament invariable, seguint sempre un mateix patró, mentre que els cants de la *Cicadatra atra* (Figura 5.2) o els de la *Tibicina quadrisignata* (Figura 5.3) poden ser sensiblement diferents intraespecíficament parlant.

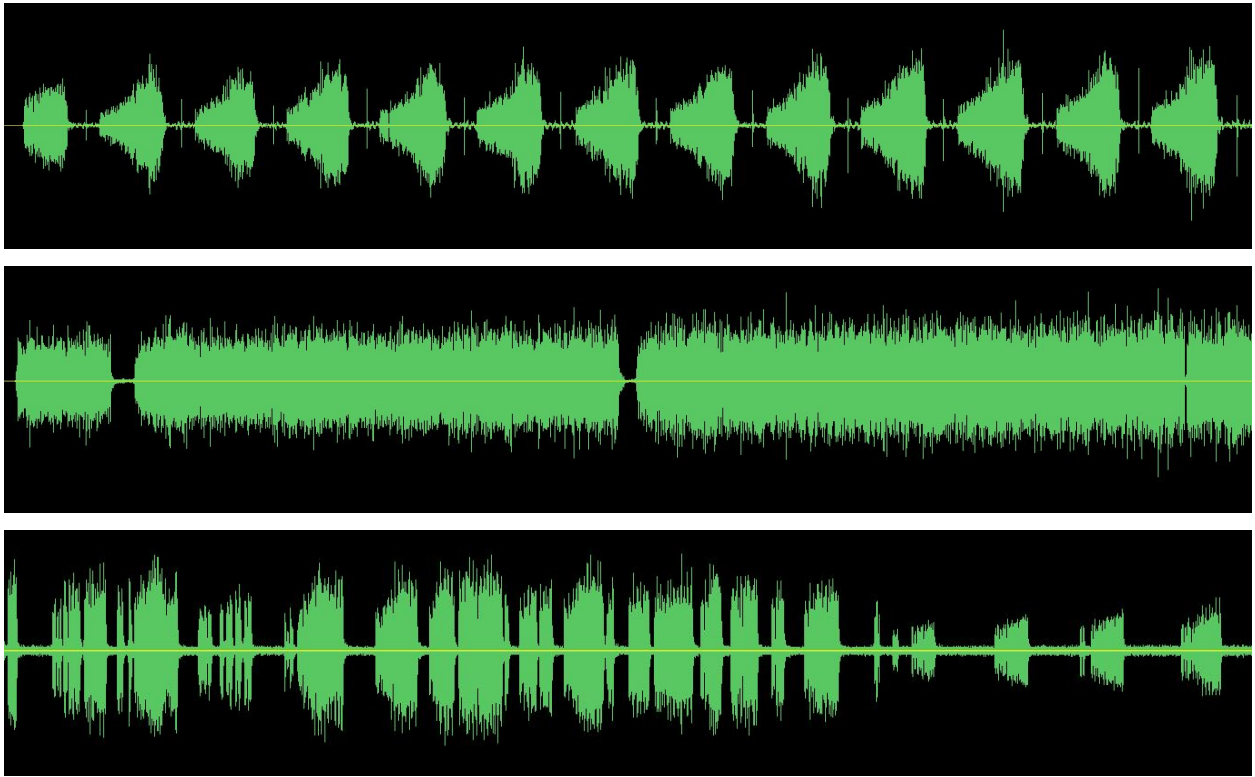
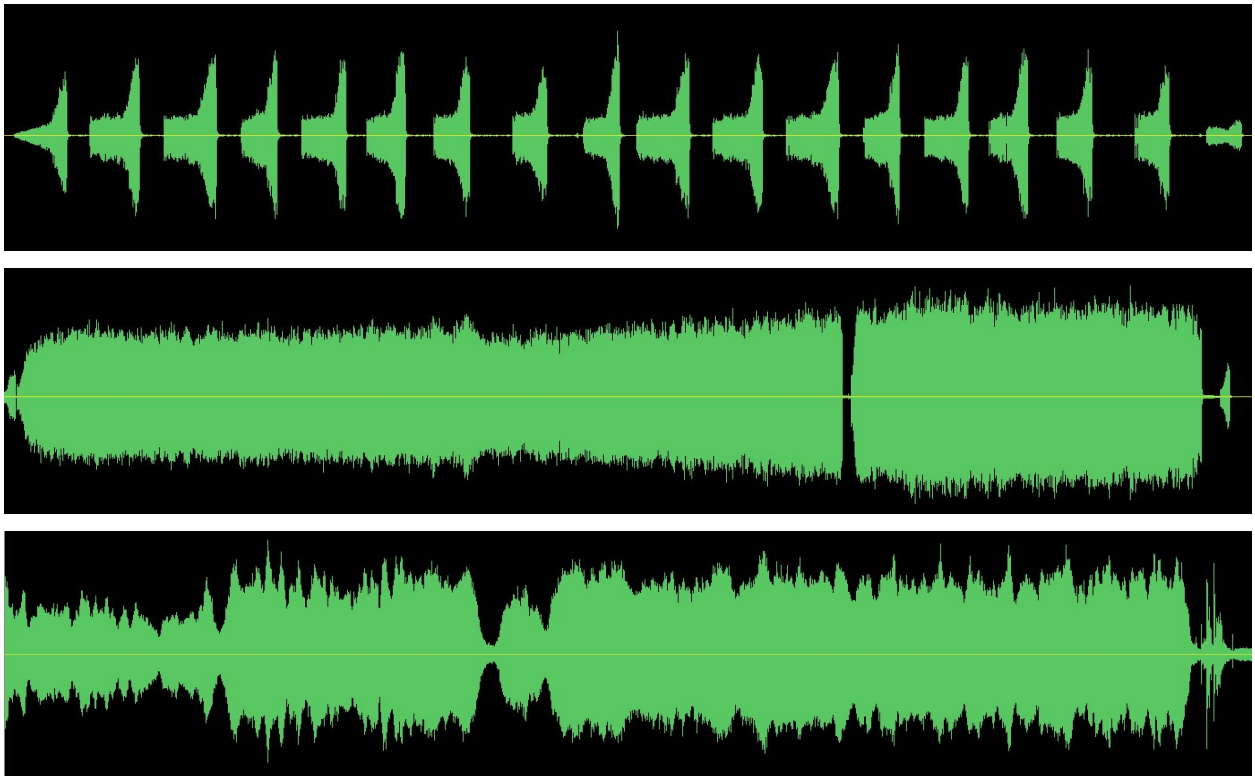
Un altre aspecte que cal tenir clar és que cada espècie emet un so dins d'un rang de freqüències determinat, el qual també pot variar en funció del que ja s'ha esmentat anteriorment: propòsit del cant, possible situació de perill, temperatura ambient... Aquest és un punt clau a l'hora de determinar la possible pertinença o no d'un cant a una espècie concreta; no obstant, per avaluar aquest paràmetre s'ha de tenir en compte, a més d'aquests factors, la freqüència de mostreig utilitzada durant l'enregistrament i el filtre de freqüències que s'hi ha aplicat.

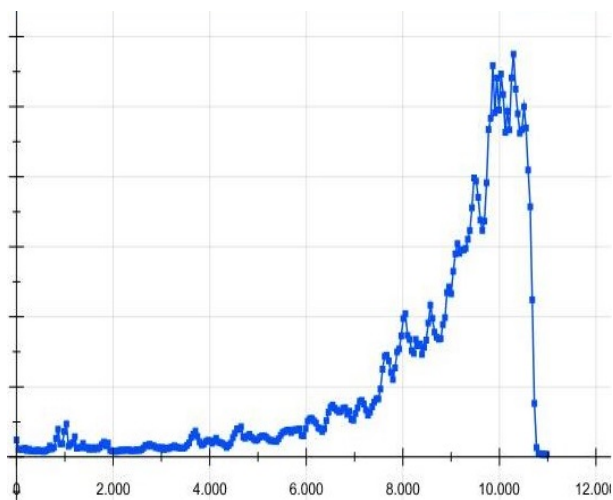
Sense entrar en més detalls, és necessari saber que un enregistrament pot captar sons de, com a màxim, una freqüència equivalent a la meitat de la freqüència de mostreig de la qual es disposa. És a dir, si es realitza una gravació amb una freqüència de mostreig de 24000 Hz, es podrà enregistrar els sons que es trobin dins de l'espectre freqüencial comprès entre els 0 i els 12000 Hz. Si s'observa la Figura 5.4 es pot comprovar com a la primera gràfica l'espectre freqüencial arriba als 11 KHz,

Figura 5.1: Cants de *Tettigetta argantata*

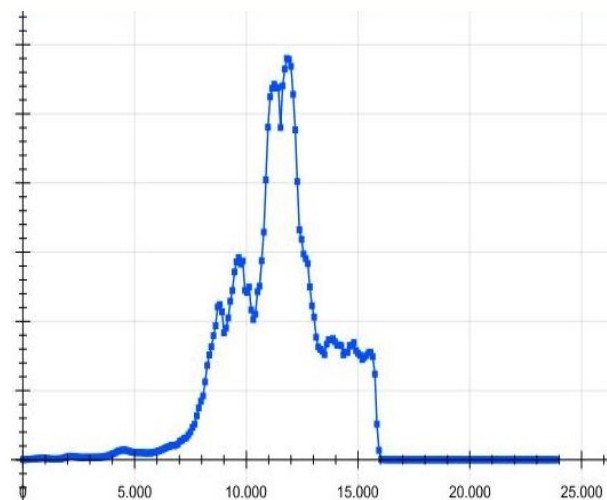
mentre que a la segona aquest arriba fins als 16 KHz, tractant-se, en ambdós casos, de cants similars de la mateixa espècie. En el segon cas, però, el tall de freqüència no ve determinat per la freqüència de mostreig (48000 Hz), sinó pel filtre freqüencial que el propi enregistrator de so emprat aplica a les gravacions per eliminar les freqüències més altes, en aquest cas amb una freqüència de tall de 16000 Hz. Aquests filtres passabaix (eliminen les freqüències altes) són aplicats perquè per sobre d'un cert llindar de freqüència les persones no apreciem gaire els sons i, per tant, no té sentit guardar-los.

És obvi, doncs, que una freqüència de mostreig alta dóna molta més informació que una freqüència de mostreig baixa, sobretot per a les espècies que emeten cants de freqüències més elevades. A més, una baixa freqüència de mostreig o un filtre passabaix amb una baixa freqüència de tall poden portar a pensar que el cant analitzat pertany a un rang de freqüències més baix del real. Conseqüentment, és crucial tenir en compte la possibilitat que s'hagi aplicat un filtre passabaix i determinar, en cas afirmatiu, la seva freqüència de tall per tal d'evitar estimacions incorrectes de l'espectre freqüencial real del cant.

Figura 5.2: Cants de *Cicadatra atra*Figura 5.3: Cants de *Tibicina quadrisignata*



(a) Enregistrament amb una freqüència de mostreig de 22000 Hz



(b) Enregistrament amb una freqüència de mostreig de 48000 Hz

Figura 5.4: Distribucions freqüencials de cants de *Cicadatra atra* (Eix X: Freqüència, Eix Y: Amplitud)

Capítol 6

Requisits del sistema

6.1 Requisits funcionals

En aquest apartat es descriu, a grans trets, totes les funcionalitats que ha d'oferir l'aplicació desenvolupada, o sigui, tot allò que aquesta permetrà fer a l'usuari. Aquests requeriments són els següents:

- Realitzar una gravació d'àudio i desar el fitxer de so resultant
- Analitzar el so acabat d'enregistrar i determinar si es correspon amb el d'alguna de les espècies de cigala que es pot sentir a Catalunya (el resultat ha d'incloure també el nivell de semblança trobat per a cada espècie per a la qual s'hagi detectat coincidències)
- Executar la mateixa funcionalitat descrita al punt anterior però amb un fitxer enregistrarat amb anterioritat que ja es tingui guardat al mòbil
- Visualitzar la informació bàsica, així com sentir alguna mostra representativa del cant, de qualsevol de les espècies de cigala que tracta l'aplicació
- Canviar l'idioma de l'aplicació, amb opció de triar entre català, castellà, anglès o francès
- Visualitzar la informació referent a l'aplicació
- Llegir les instruccions d'ús de l'aplicació

6.2 Requisits no funcionals

Els requisits no funcionals són aquells que fan referència a l'arquitectura d'un sistema i a com opera, és a dir, no descriuen les funcionalitats que ofereix sinó les característiques del seu funcionament. En aquesta secció es descriu els més rellevants per a l'aplicació que ens ocupa, que són els següents:

- **Accessibilitat:** Per poder accedir a l'aplicació tan sols es requereix un telèfon mòbil intel·ligent amb sistema operatiu Android versió 4.0.3 o superior i connexió a internet per poder descarregar-la de Google Play.

- Portabilitat: Es tracta d'una aplicació amb poc pes, només 28.2 Mb, i un temps d'instal·lació aproximat de 15 segons.
- Cost: Es pot descarregar gratuïtament.
- Seguretat: No hi ha implementat cap sistema de seguretat, atesa la manca absoluta d'informació que requereixi protecció (les úniques dades que s'emmagatzema són l'idioma i l'adreça del directori contenidor de l'últim fitxer analitzat).
- Concurrencia: Pot executar-se simultàniament amb qualsevol altra aplicació sense que això generi cap problema de funcionament.
- Rendiment: El temps necessari per engegar l'aplicació és inferior a un segon, i el temps d'anàlisi depèn completament del dispositiu utilitzat i de la durada del fitxer, perquè la FFT (Transformada de Fourier), l'algorisme que consumeix més temps de l'aplicació, té un ordre de $N \cdot \log(N)$. Generalment, aquest temps es mou entre la pròpia durada del temps total enregistrat i el doble de temps.

Capítol 7

Estudis i decisions

En aquest capítol s'enumera i descriu breument les eines més rellevants de les quals s'ha fet ús durant el desenvolupament de l'aplicació.

7.1 Maquinari

7.1.1 Ordinador

Tot el projecte, inclosa la redacció de la documentació, s'ha dut a terme des del mateix ordinador, un portàtil amb sistema operatiu Windows 10 Home les característiques tècniques principals del qual són descrites a la Taula 2.1.

7.1.2 Telèfon mòbil

Aquest dispositiu només s'ha fet servir per a les proves d'execució de l'aplicació al camp, ja que per a la resta de tasques s'ha treballat amb l'ordinador ja esmentat. S'ha realitzat proves amb diversos mòbils per assegurar la compatibilitat de l'aplicació amb models de diferents fabricants, mides de pantalla i versions del sistema operatiu Android. El telèfon més utilitzat és el descrit a la Taula 2.2.

7.2 Llenguatges de programació

7.2.1 Java



El Java és un llenguatge de programació orientat a objectes la sintaxi del qual deriva, bàsicament, del C i del C++. És un dels llenguatges de programació més utilitzats tant per a aplicacions d'escriptori com per a aplicacions web gràcies, sobretot, al fet de ser potent, flexible i multi-plataforma. Les seves característiques principals són les següents:

- **Portabilitat:** És completament independent tant del dispositiu on s'executarà el codi com del sistema operatiu que aquest utilitzi; pot ser executat en qualsevol entorn amb una màquina virtual de Java.
- **Interpretació:** Requereix una màquina virtual de Java per ser interpretat, de manera que necessita un temps d'execució sovint superior al d'altres llenguatges.
- **Simplicitat:** La sintaxi de Java és senzilla i fàcilment intel·ligible, la qual cosa en simplifica la lectura, l'escriptura i l'aprenentatge.
- **Comoditat:** Compta amb un sistema de gestió de memòria que reserva espais per al seu ús i posteriorment els allibera de forma automàtica quan ja no s'hi ha d'accedir més. A diferència de llenguatges semblants com ara el C++, no té punters.
- **Robustesa:** És fortament tipat, proporciona un sistema de tractament d'excepcions realment complet i realitza comprovacions estrictes en temps d'execució, de manera que els errors en Java són més infreqüents que en altres llenguatges de programació.

Els motius que van portar a optar pel Java són diversos. En primer lloc, és un llenguatge del qual ja es tenia un domini suficient per emprendre un projecte d'aquesta complexitat sense tenir complicacions afegides derivades de la manca d'experiència amb aquest. En segon lloc, compta amb una interfície de programació d'aplicacions (API) molt completa, la qual permet estalviar-se la implementació de certes funcionalitats. A més, en ser un llenguatge àmpliament utilitzat, n'hi ha molta documentació disponible que pot ser útil de cara a trobar la causa i/o la solució dels possibles errors, tant en temps de compilació com en temps d'execució, que puguin sorgir durant el desenvolupament de l'aplicació. Finalment, també s'ha tingut en compte la simplicitat del llenguatge explicada anteriorment, gràcies a la qual la programació en Java pot resultar més àgil que en altres llenguatges.

Lliberies

Les lliberies que s'ha importat per ajudar-se en el desenvolupament de la primera part del treball i/o de la segona són les següents:

- **android.media.AudioFormat:** S'utilitza per enregistrar i reproduir fitxers d'àudio a l'aplicació mòbil.
- **java.io.BufferedInputStream:** S'utilitza per accedir a les dades d'àudio d'un fitxer de so i emmagatzemar-les per poder analitzar-les posteriorment.
- **java.io.BufferedReader:** S'utilitza per llegir les dades d'un fitxer de manera genèrica.

- **java.io.DataInputStream:** S'utilitza per llegir les dades de format i d'àudio contingudes en un fitxer de so.
- **java.io.EOFException:** S'utilitza per tractar les excepcions derivades d'intentar llegir un valor d'un fitxer quan ja s'ha arribat al final del seu contingut.
- **java.io.File:** S'utilitza per guardar la informació global d'un fitxer real en un objecte.
- **java.io.FileInputStream:** S'utilitza per accedir a la informació d'un fitxer ja existent.
- **java.io.FileOutputStream:** S'utilitza per escriure o sobre escriure la informació d'un fitxer.
- **java.io.FileNotFoundException:** S'utilitza per tractar les excepcions produïdes en intentar accedir a un fitxer inexistent.
- **java.io.InputStream:** S'utilitza per accedir al flux de dades d'un fitxer.
- **java.io.InputStreamReader:** S'utilitza per llegir el contingut d'un fitxer.
- **java.io.IOException:** S'utilitza per tractar les excepcions derivades d'operacions d'entrada o sortida, és a dir, de llegir, crear o modificar un fitxer.
- **java.util.ArrayList:** S'utilitza per emmagatzemar objectes de qualsevol tipus en una llista genèrica de mida modificable.
- **java.util.Collections:** S'utilitza per ordenar els objectes d'una llista mitjançant un comparador ja implementat.
- **java.util.Comparator:** Interfície que s'utilitza per, mitjançant les classes pròpies de l'aplicació que la implementen, permetre ordenar una llista d'objectes d'acord amb els criteris que s'estableixi.
- **java.util.HashMap:** S'utilitza per guardar les propietats del format d'un fitxer de so en forma de parelles clau-valor.

També s'ha utilitzat nombroses llibreries d'Android relatives al disseny i a la modificació de la interfície d'usuari de l'aplicació mòbil, les quals no són llistades aquí per una qüestió de pragmatisme.

7.3 Programari

7.3.1 Netbeans IDE 8.0 RC1



El Netbeans és un entorn de desenvolupament integrat gratuït i de codi obert que permet programar en C, C++, PHP, HTML5, Javascript o Java, entre d'altres, però està enfocat sobretot a aquest darrer.

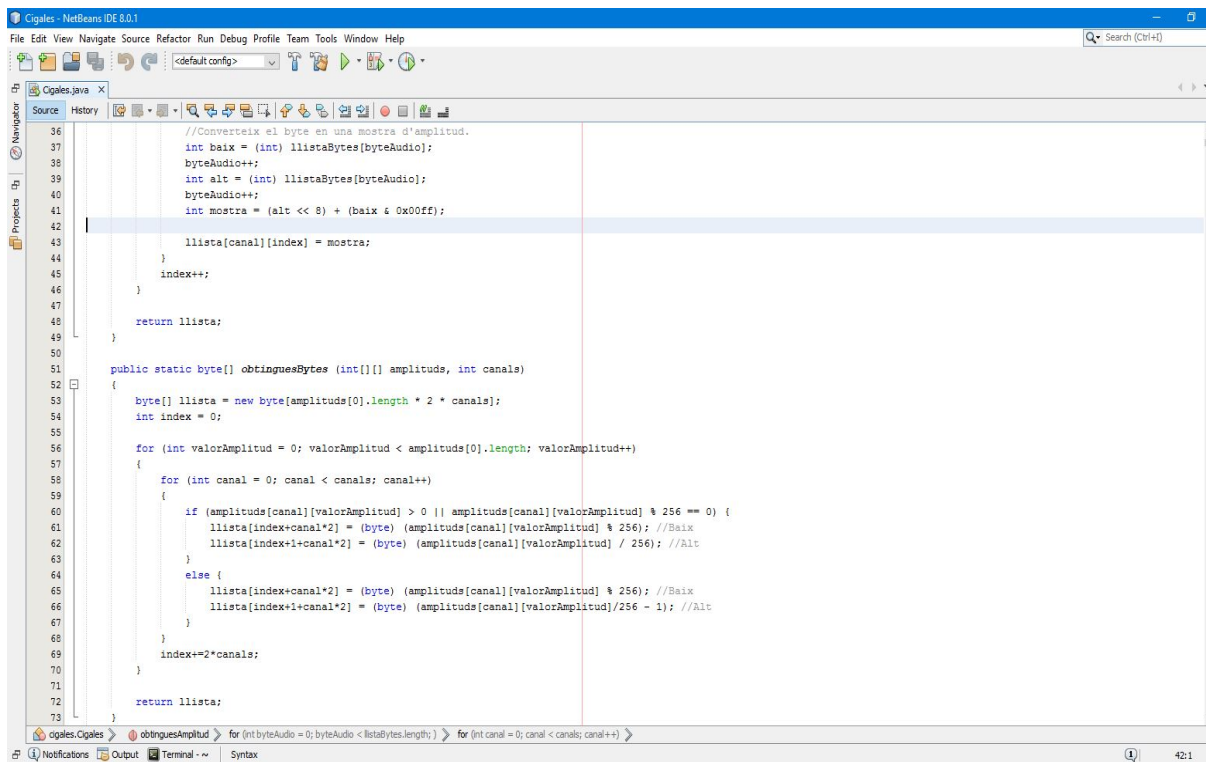


Figura 7.1: Captura de l'editor de codi del NetBeans

L'editor de codi de Java compila automàticament en segon pla, a mesura que es va escrivint el codi, de manera que notifica els possibles errors lèxics o sintàctics just després d'haver-los comès, sense haver de compilar manualment i, en conseqüència, es pot corregir-los instantàniament. A més, també compta amb un servei d'autocompleció (*IntelliSense*), que ajuda a estalviar temps en escriure noms de variables, classes, mètodes, etcètera, ja que mostra les coincidències que troba per a l'inici del mot que s'està escrivint i permet escriure'l sencer simplement seleccionant l'opció correcta i clicant el tabulador.

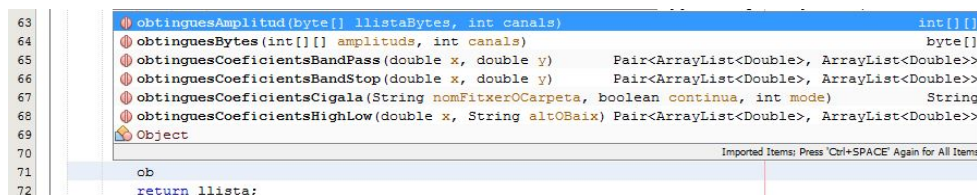


Figura 7.2: IntelliSense del NetBeans

El depurador del NetBeans ofereix la possibilitat d'inserir punts d'interrupció al codi, els quals permeten aturar l'execució just abans de la línia de codi on s'ha afegit el punt. Així, es pot veure quins valors tenen les variables en aquell moment i comprovar si tot és correcte o hi ha alguns valors que no ho són. També dona l'opció d'avaluar el valor d'expressions més complexes que una sola variable, com ara la combinació de diverses variables i/o funcions, en el moment exacte en què s'ha aturat l'execució. Aquest mòdul és, per tant, extremament útil a l'hora de fer comprovacions sobre el nivell de correctesa del funcionament de l'aplicació o d'una part d'aquesta. D'altra banda, el depurador també permet executar instruccions pas a pas, amb la qual cosa es pot detectar amb molta més facilitat la línia de codi exacta on hi ha un error.

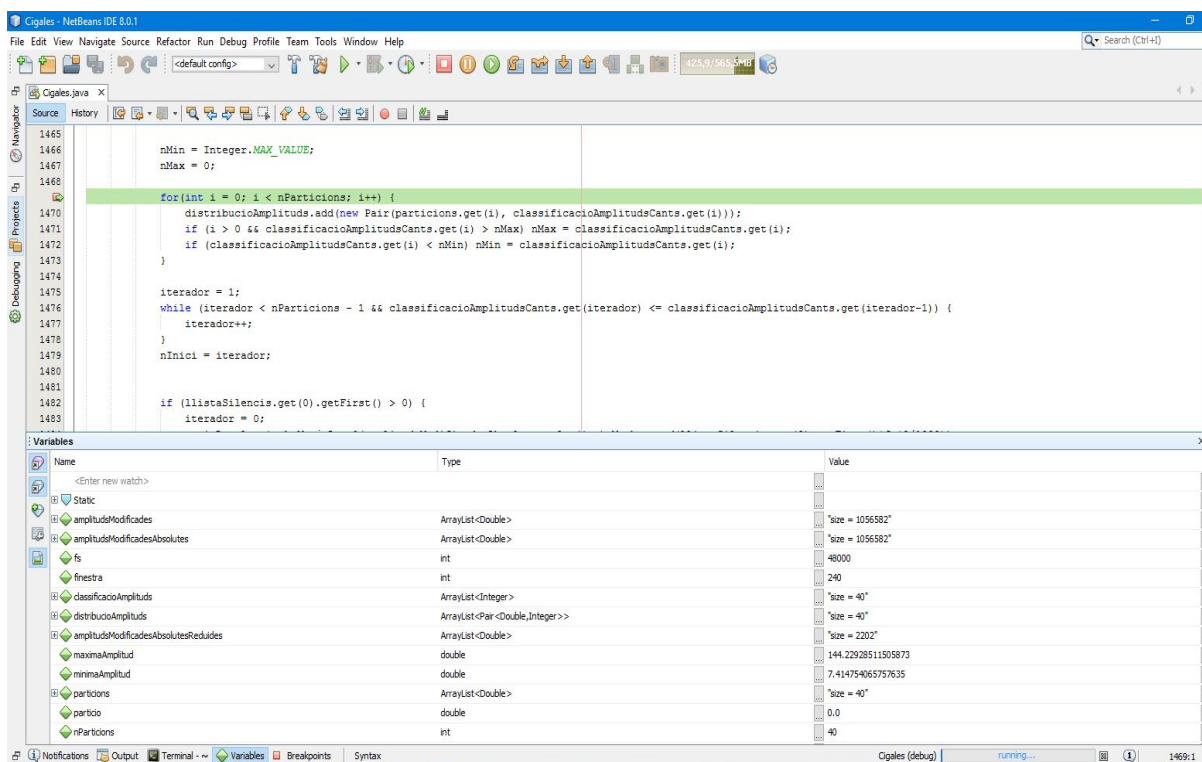
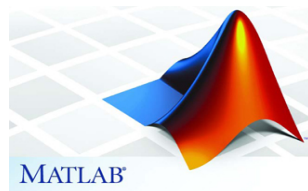


Figura 7.3: Depurador del NetBeans

Aquest és l'entorn de desenvolupament pel qual es va optar perquè, havent decidit que es volia programar la part del projecte corresponent a la identificació en Java, el NetBeans va ser considerat el programa més adequat a l'hora de treballar en aquest llenguatge i amb el projecte en qüestió. En haver desenvolupat múltiples aplicacions en Java anteriorment i haver-ho fet amb diferents entorns, ja es tenia el coneixement de quins avantatges i inconvenients presenta cada un, i la raó principal per escollir el NetBeans va ser sens dubte la usabilitat, combinada amb la funcionalitat, que ofereix el seu depurador de codi.

7.3.2 Matlab R2013b



El Matlab és un entorn de desenvolupament de l'empresa MathWorks orientat sobretot als càlculs i operacions matemàtiques. Permet implementar algorismes en el seu llenguatge propi, el Matlab, amb els quals es pot dur a terme una gran varietat de còmputos matemàtics emprant els mètodes i funcionalitats que el propi Matlab ofereix.

Durant aquest projecte s'ha usat el Matlab, en primer lloc, per fer proves amb els rangs de freqüència dels cants de cada espècie. En analitzar les gravacions de cants de les quals es disposa amb aquest programa es va poder comprovar entre quins espectres freqüencials es mou i quin nivell de variació freqüencial presenta cada espècie. També va ser útil a l'hora de comprovar el funcionament de les implementacions que s'havia fet de la transformada de Fourier, en permetre comparar els resultats d'aquestes amb els obtinguts pel Matlab. A part d'aquests dos punts, però, allò en què el Matlab ha ajudat realment és l'eliminació del soroll dels fitxers d'àudio. Gràcies al Matlab s'ha pogut comprovar quin filtre és el més eficaç a l'hora d'extreure els valors no corresponents als cants de cigala gravats i quins paràmetres i valors es necessita per, un cop implementat el filtratge i l'obtenció dels coeficients necessaris per dur-lo a terme, aconseguir que es detecti de manera automàtica els lliminars freqüencials a partir dels quals és convenient aplicar el filtre.

Tal com ja s'ha explicat en un apartat anterior, el Matlab va ser considerat idoni sobretot per dos factors clau: és una eina amb un gran potencial que permet realitzar totes les operacions matemàtiques que es necessita per a aquest projecte i, a més, no es partia d'experiència zero amb el programa, així que el seu ús no requeria un aprenentatge previ del seu funcionament.

7.3.3 WavePad



El WavePad és una aplicació d'escriptori desenvolupada per NCH Software que permet analitzar i editar fitxers d'àudio. Es tracta d'un programa de prova (*shareware*) certament complet que dóna la possibilitat de continuar utilitzant-lo un cop finalitzat el període de prova, això sí, amb la majoria de les funcionalitats restringides. Encara que ofereixi una gran varietat d'opcions, però, durant

aquest projecte només s'ha fet servir per analitzar els fitxers de so dels quals s'ha disposat, amb l'objectiu de poder detectar diferències el màxim de diagnòstiques possible entre els cants de les diferents espècies de cigala que s'ha tractat. Així mateix, també ha estat útil per avaluar, observant la representació gràfica de les amplituds en funció del temps de les gravacions dels cants de cigala, el nivell de correctesa dels paràmetres obtinguts a l'anàlisi del cant de l'aplicació desenvolupada.

Es va seleccionar aquesta eina perquè tan sols es necessitava un programa gratuït que permetés fer anàlisis precises de les amplituds en funció del temps, amb la qual cosa el WavePad encaixa perfectament. Cal esmentar també que el bloqueig de determinades funcionalitats un cop finalitzat el període de prova no ha suposat cap limitació per als usos descrits.

7.3.4 Android Studio



L'Android Studio és un entorn de desenvolupament integrat basat en l'IntelliJ IDEA que permet desenvolupar aplicacions per a mòbils amb sistema operatiu Android. Ha estat l'IDE escollit per davant de l'Eclipse pel fet de ser més intuïtiu en general i més complet i alhora pràctic a l'hora de dissenyar interfícies, així com per qüestions pragmàtiques, atès que ja s'hi havia treballat amb anterioritat i se'n coneixia el potencial.

7.3.5 Visual Paradigm 13.0



El Visual Paradigm for UML és un programa que permet elaborar diferents tipus de diagrames relatius a l'anàlisi i el disseny d'aplicacions informàtiques, com ara diagrames de classes, diagrames de seqüència, diagrames de comunicació, etcètera. Pel que concerneix a aquest projecte, s'ha utilitzat només per als diagrames de classes i de casos d'ús de l'aplicació mòbil, i és el programari que ha estat seleccionat bàsicament perquè, com en el cas anterior, ja es partia d'una certa experiència amb aquesta eina.

7.3.6 TeamGantt



El TeamGantt és un programari en línia que permet planificar i organitzar projectes d'una manera ràpida i senzilla mitjançant la confecció de diagrames de Gantt. En aquest cas només s'ha usat per a la planificació, a grans trets, d'aquest treball, i va ser escollit perquè, d'entre els diferents programaris que es va provar (Gantter, Tom's Planner, GanttPRO...), va ser considerat el més intuïtiu i planer.

7.3.7 WinEdt 10.1



El WinEdt és un editor de text enfocat principalment a la creació i l'edició de documents TeX o LaTeX, encara que també permet treballar amb altres tipus de fitxer de text. S'ha emprat per a la redacció d'aquesta memòria perquè, com en algun dels casos anteriors, es tenia experiència prèvia al treball en l'ús del programa, en aquest cas pel que fa a la redacció de documents en LaTeX. Quant a la decisió d'escriure el treball en LaTeX, es va considerar que aquest sistema de tipografia era el més adequat per a documents com aquest gràcies a la seva practicitat sobretot a l'hora d'evitar feina repetitiva i també per l'aspecte elegant que dona als documents resultants.

Capítol 8

Anàlisi i disseny del sistema

En aquest apartat es descriu el funcionament de l'aplicació a nivell conceptual, sense entrar en detalls d'implementació. Amb aquest objectiu, s'il·lustra el diagrama de casos d'ús i la fitxa de cas d'ús per a cada un d'aquests casos, així com el diagrama de classes en el qual s'ha basat el sistema implementat.

8.1 Diagrama de casos d'ús i fitxes de cas d'ús

El diagrama de casos d'ús és un tipus de diagrama UML (*Unified Modeling Language*), un llenguatge de modelització gràfica a base de pictogrames que té com a objectiu proporcionar un mètode normalitzat per representar gràficament la concepció d'un sistema. Cada diagrama UML està encarat a descriure el sistema des d'un punt de vista diferent i, en el cas concret dels diagrames de casos d'ús, l'objectiu és donar una visió global del comportament funcional d'un sistema. En altres paraules, aquests diagrames no donen detalls de la implementació, sinó que simplement descriuen a alt nivell les funcionalitats a les quals té accés cada usuari i la manera com aquests interactuen amb el sistema.

Els elements principals d'un diagrama de casos d'ús són els actors, els propis casos d'ús i les relacions. El que s'anomena actor és un tipus d'usuari del sistema, el qual es categoritza segons el rol que segueix. Per exemple, es pot tenir l'actor Administrador, el qual tindrà accés a totes les funcionalitats de l'aplicació, i el rol Usuari, que només podrà accedir a algunes d'aquestes. A l'aplicació presentada no hi ha distinció de rols, atès que s'ofereix totes les funcionalitats disponibles, sense restriccions, a qualsevol usuari. Els casos d'ús, al seu torn, representen les funcionalitats de l'aplicació, i les relacions, tal com el seu nom indica, mostren com es relacionen els casos d'ús entre ells o amb els actors. Hi ha diversos tipus de relació, però els que es pot observar al diagrama de casos d'ús de la Figura 8.1 són l'associació (relació entre un actor i un cas d'ús que indica què pot fer cada actor) i la inclusió (relació entre dos casos d'ús que es dona quan un n'inclou un altre).

Pel que fa a les fitxes de cas d'ús, simplement consisteixen en una descripció escrita de les característiques principals, sempre des d'un punt de vista funcional, de cada cas d'ús.

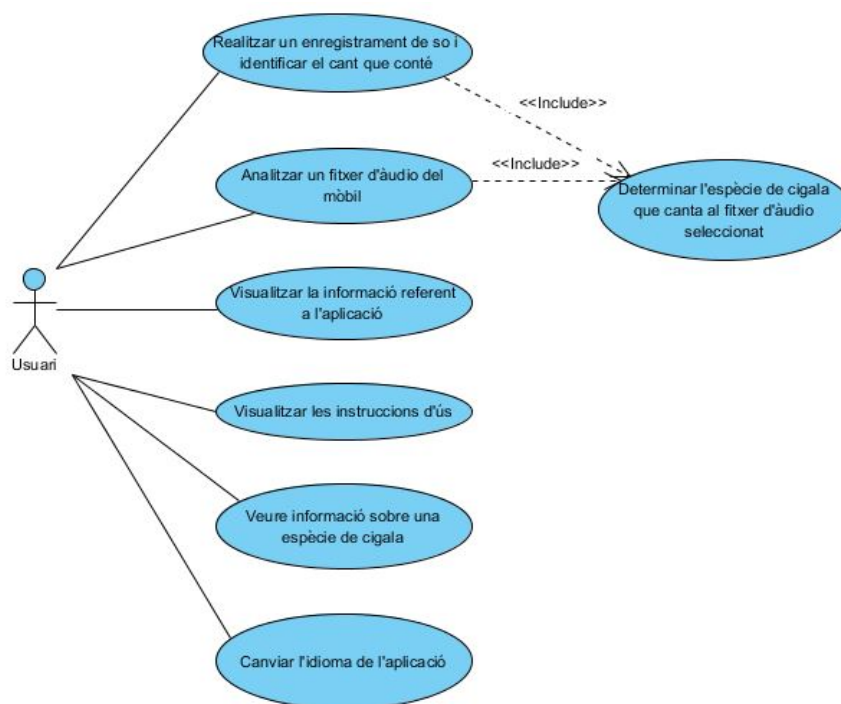


Figura 8.1: Diagrama de casos d'ús de l'aplicació

Les fitxes dels casos d'ús especificats al diagrama de la Figura 8.1 són les següents:

Cas d'ús	Analitzar un fitxer d'àudio del mòbil
Descripció	Selecciona un fitxer .wav, l'analitza i mostra els resultats obtinguts.
Actors	Usuari
Precondició	Cap
Flux principal	<ol style="list-style-type: none"> 1. S'obre una pantalla que permet triar un fitxer .wav i moure's pels diferents directoris i subdirectoris del mòbil, començant al directori base de la targeta SD o bé a l'última carpeta d'on s'hagi seleccionat un fitxer .wav mitjançant aquesta funcionalitat. 2. Si no s'ha cancel·lat l'operació i el fitxer seleccionat no està malmès ni és corrupte, determina les semblances entre el cant que possiblement contingui i els cants de les diferents espècies de cigala que tracta l'aplicació i en mostra els resultats.
Postcondició	Ha seleccionat un fitxer .wav, l'ha analitzat i ha mostrat els resultats obtinguts, sempre que no s'hagi cancel·lat l'operació.

Taula 8.1: Fitxa del cas d'ús "Analitzar un fitxer d'àudio al mòbil"

Cas d'ús	Determinar l'espècie de cigala que canta al fitxer d'àudio seleccionat
Descripció	Determina les semblances entre el cant possiblement contingut en un fitxer de so i els cants de les diferents espècies de cigala que tracta l'aplicació i en mostra els resultats.
Actors	Usuari
Precondició	El fitxer no està malmès ni és corrupte i té format .wav.
Flux principal	<ol style="list-style-type: none"> 1. S'obre el fitxer d'àudio seleccionat. 2. S'extreu el contingut del fitxer i es converteix en dades intel·ligibles per a l'aplicació. 3. Es processa aquest contingut i es detecta quines parts de la gravació poden correspondre a un cant de cigala. 4. S'analitza aquestes parts i se n'extreu determinats paràmetres defintoris del cant. 5. Es determina, des del sistema identificador i a partir dels valors obtinguts per a cada paràmetre, els nivells de coincidència entre el cant analitzat i cadascun dels cants de les espècies que tracta l'aplicació. 6. Es mostra, en cas que n'hi hagi, les semblances obtingudes i, per a cadascuna, un enllaç a la fitxa descriptiva de l'espècie corresponent.
Postcondició	L'aplicació ha mostrat els nivells de semblança entre el cant enregistrat i els de totes les espècies per a les quals ha trobat coincidències, així com un enllaç a la fitxa descriptiva d'aquestes.

Taula 8.2: Fitxa del cas d'ús "Determinar l'espècie de cigala que canta al fitxer d'àudio seleccionat"

Cas d'ús	Veure informació sobre una espècie de cigala
Descripció	Permet visualitzar la fitxa descriptiva de qualsevol de les espècies disponibles
Actors	Usuari
Precondició	Cap
Flux principal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Obre un menú on es pot seleccionar qualsevol de les espècies de cigala tractades a l'aplicació. 2. Si l'usuari no ha cancel·lat l'operació i ha seleccionat una espècie concreta, s'obre la seva fitxa descriptiva.
Postcondició	S'ha obert la fitxa descriptiva de l'espècie de cigala que l'usuari hagi escollit, sempre que no s'hagi cancel·lat l'operació.

Taula 8.3: Fitxa del cas d'ús "Veure informació sobre una espècie de cigala"

Cas d'ús	Realitzar un enregistrament de so i identificar el cant que conté
Descripció	Realitza un enregistrament de so, el desa en forma de fitxer d'àudio i determina l'espècie de cigala el cant de la qual conté, si és el cas.
Actors	Usuari
Precondició	Hi ha suficient memòria disponible al telèfon mòbil per poder emmagatzemar el fitxer de so.
Flux principal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Comprova si l'usuari ja ha visualitzat les instruccions d'ús de l'aplicació. <ol style="list-style-type: none"> 1.1. En cas negatiu, les mostra. 2.1. Comprova si l'enregistrador d'Android s'està executant <ol style="list-style-type: none"> 2.1.1. Si està duent a terme una gravació, la finalitza. 3. Inicia una gravació. 4. Enregistra el so captat fins que l'usuari aturi la gravació. 5. Llegeix la ruta on s'ha de desar el fitxer, la qual ja està definida abans de realitzar la gravació. 6. Si la carpeta indicada per l'aplicació no existeix, la crea. 7. Desa el fitxer, en format .wav, a la carpeta en qüestió, amb un nom que indiqui la data i l'hora de la gravació. 8. L'usuari pot reproduir l'enregistrament i decidir si el descarta o si vol analitzar-lo. En aquest últim cas: <ol style="list-style-type: none"> 7.1. Determina les semblances entre el cant que possiblement contingui el fitxer i els cants de les diferents espècies de cigala que tracta l'aplicació i en mostra els resultats.
Postcondició	S'ha iniciat i finalitzat un enregistrament de so, s'ha desat en forma de fitxer .wav i s'ha mostrat els resultats de semblança entre el cant possiblement contingut pel fitxer en qüestió i les espècies de cigala per a les quals s'ha trobat coincidències, així com un enllaç a la fitxa descriptiva d'aquestes espècies.

Taula 8.4: Fitxa del cas d'ús "Realitzar un enregistrament de so i identificar el cant que conté"

Cas d'ús	Visualitzar la informació referent a l'aplicació
Descripció	Dóna una descripció bàsica de l'aplicació.
Actors	Usuari
Precondició	Cap

Flux principal	1. Obre una pàgina on s'explica breument en què consisteix l'aplicació i la llicència sota la qual es distribueix.
Postcondició	S'ha mostrat la informació bàsica de l'aplicació.

Taula 8.5: Fitxa del cas d'ús "Visualitzar la informació referent a l'aplicació"

Cas d'ús	Visualitzar les instruccions d'ús
Descripció	Dóna un seguit d'instruccions i consells bàsics sobre l'ús de l'aplicació.
Actors	Usuari
Precondició	Cap
Flux principal	1. Obre una pàgina on s'enumera diversos consells i condicions de cara a obtenir uns resultats el màxim de fiables possible.
Postcondició	S'ha mostrat les instruccions i consells bàsics sobre l'ús de l'aplicació.

Taula 8.6: Fitxa del cas d'ús "Visualitzar les instruccions d'ús"

Cas d'ús	Canviar l'idioma de l'aplicació
Descripció	Permet seleccionar l'idioma en el qual l'aplicació es comunicarà amb l'usuari
Actors	Usuari
Precondició	Cap
Flux principal	1. Obre un menú on es pot seleccionar qualsevol dels idiomes disponibles: català, anglès, castellà i francès. 2. Si l'usuari no ha cancel·lat l'operació i ha seleccionat un idioma concret, el contingut textual de l'aplicació passa a mostrar-se en aquesta llengua.
Postcondició	L'aplicació ha canviat el seu idioma pel que l'usuari hagi triat, sempre que no s'hagi cancel·lat l'operació.

Taula 8.7: Fitxa del cas d'ús "Canviar l'idioma de l'aplicació"

8.2 Diagrama de classes

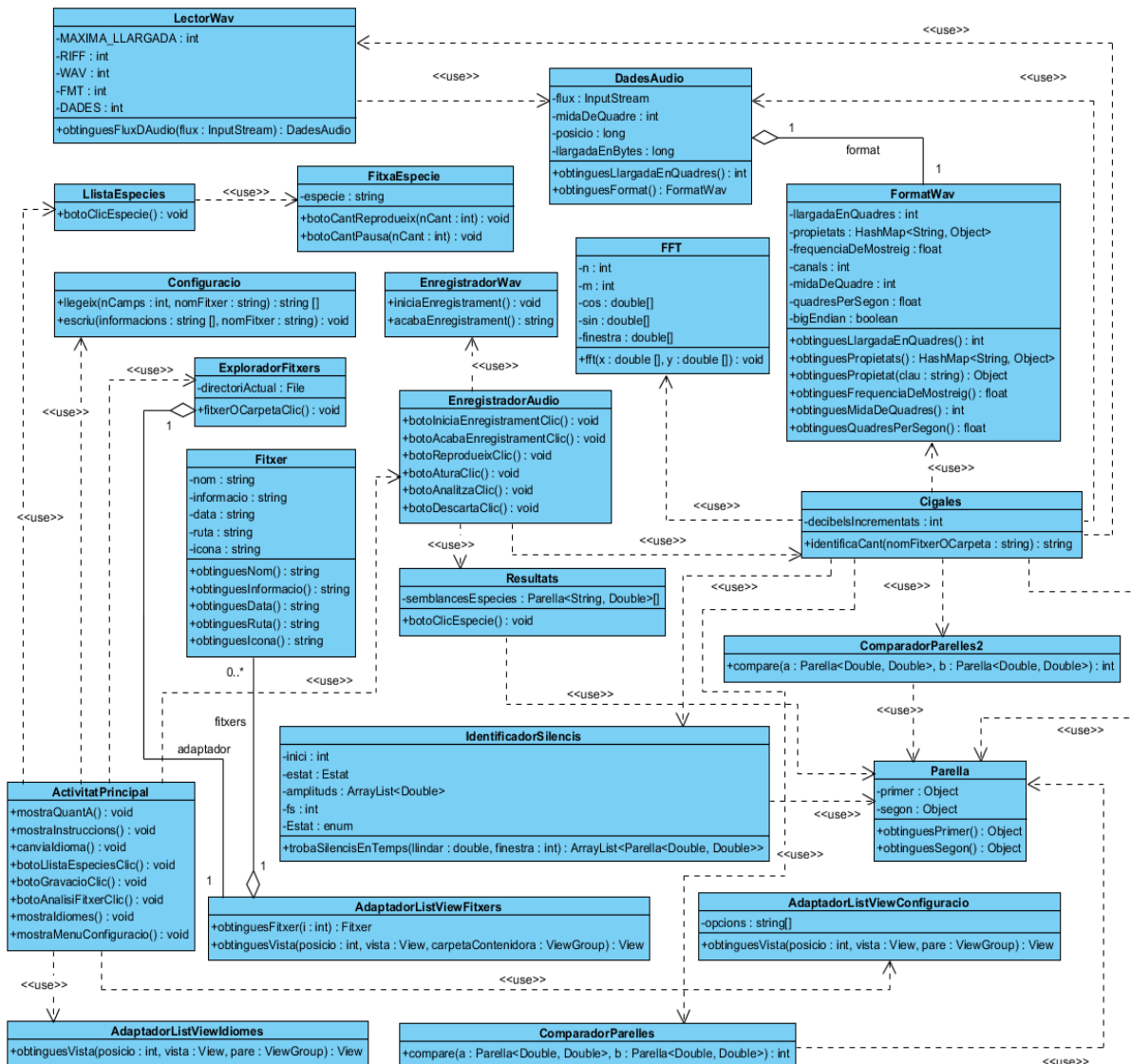


Figura 8.2: Diagrama de classes de l'aplicació

Les classes representades al diagrama de la Figura 8.2 són les següents:

- **Cigales:** És la classe que conté el codi principal de l'aplicació, tant pel que fa al processament del fitxer de so i l'anàlisi del cant com pel que fa a la identificació de l'espècie de cigala a partir dels valors obtinguts durant aquesta anàlisi per a cada un dels paràmetres tractats. Permet identificar l'espècie de cigala a la qual correspon el cant enregistrat en un fitxer de so.
- **Parella:** És una classe implementada per emmagatzemar dos camps de tipus genèric en un sol objecte. Un dels molts usos que se li dona és guardar la situació d'un cant dins de l'enregistrament (moment d'inici i moment final).

- **ComparadorParelles:** És una classe auxiliar que permet comparar dues parelles de reals. S'utilitza per comparar durades de cants, les quals determina restant el primer component de la parella (inici del cant) al segon (final del cant). Retorna -1 en cas que el primer cant sigui més llarg, 1 si el més llarg és el segon i 0 si tots dos duren el mateix.
- **ComparadorParelles2:** És una classe auxiliar que permet comparar dues parelles amb components de tipus String i real. S'utilitza per comparar resultats de semblança amb les espècies de cigala que tracta l'aplicació. Retorna -1 en cas que el primer resultat sigui millor que el segon, 1 si el millor és el segon i 0 si s'ha trobat el mateix nivell de semblança per a totes dues espècies.
- **IdentificadorSilencis:** És una classe que permet trobar els silencis que hi ha en un enregistrament a partir dels valors d'amplitud respecte del temps extrets d'aquest. S'utilitza per saber a quins trams de la gravació pot haver-hi un cant de cigala i a quins no.
- **FFT:** És una classe que conté una implementació de la FFT. S'utilitza per calcular la transformada de Fourier d'un fitxer de so de manera eficient.
- **DadesAudio:** És una classe que llegeix i guarda les dades d'àudio d'un fitxer .wav. S'utilitza per obtenir els valors d'amplitud en domini temporal del fitxer que s'analitza.
- **FormatWav:** És una classe que conté totes les dades relatives al format d'un fitxer .wav. S'utilitza per guardar la informació sobre el format del fitxer que s'analitza.
- **LectorWav:** És una classe que permet llegir totes les dades, tant les corresponents al format com les d'àudio en si, d'un fitxer .wav. S'utilitza per obtenir tota la informació necessària del fitxer que s'analitza.
- **ActivitatPrincipal:** És la classe que gestiona la pantalla principal de l'aplicació.
- **AdaptadorListViewConfiguracio:** És la classe que gestiona la llista d'opcions de configuració que es mostra a la pantalla principal de l'aplicació. Aquestes opcions permeten visualitzar la informació referent a l'aplicació o bé les seves instruccions d'ús.
- **AdaptadorListViewFitxers:** És la classe que gestiona la llista de fitxers i directoris que es mostra en cercar un fitxer de so enregistrat amb antelació per analitzar-lo.
- **AdaptadorListViewIdiomes:** És la classe que gestiona la llista d'idiomes que es mostra a la pantalla principal de l'aplicació. Aquests són el català, el castellà, l'anglès i el francès.
- **Configuracio:** És la classe que s'utilitza per llegir i escriure les opcions de configuració actuals: idioma, directori des d'on s'ha d'analitzar els fitxers de so i indicador de si les instruccions d'ús de l'aplicació han estat visualitzades per l'usuari o no.
- **EnregistradorAudio:** És la classe que gestiona la pantalla d'enregistrament, reproducció i anàlisi dels fitxers de so. Permet gravar un cant, reproduir-lo i descartar-lo en cas que no es consideri vàlid o bé analitzar-lo en cas contrari, mentre informa en tot moment de l'acció que s'està duent a terme (enregistrant o analitzant).
- **EnregistradorWav:** És la classe que permet fer una gravació mitjançant l'enregistrador del mòbil i desar-la al dispositiu en forma de fitxer .wav.

- **ExploradorFitxers:** És la classe que gestiona la pantalla de l'explorador de fitxers que s'utilitza a l'hora de seleccionar el fitxer enregistrat amb antelació que es vol analitzar.
- **FitxaEspecie:** És la classe que gestiona, de manera genèrica, la pantalla que mostra la informació base de cada una de les espècies de cigala tractades a l'aplicació.
- **Fitxer:** És la classe que permet obtenir les dades de cada fitxer o carpeta que es trobi dins del directori actual de l'explorador de fitxers. S'utilitza a l'hora de cercar fitxers enregistrats amb antelació per analitzar-los.
- **LlistaEspecies:** És la classe que gestiona la pantalla que mostra la llista de totes les espècies de cigala tractades a l'aplicació.
- **Resultats:** És la classe que gestiona la pantalla on es mostra els resultats d'identificació del cant de cigala analitzat.

8.3 Base de dades

Les úniques dades que l'aplicació ha d'emmagatzemar són, com ja s'ha esmentat anteriorment, l'idioma mitjançant el qual l'aplicació es comunicarà amb l'usuari, l'adreça del directori contenidor de l'últim fitxer analitzat i un valor que indiqui si l'usuari ja ha llegit les instruccions d'ús de l'aplicació o encara no. A més, és totalment infactible que qualsevol modificació futura de l'aplicació pugui comportar la necessitat d'incrementar les dades emmagatzemades de manera significativa. Fóra, doncs, del tot desassenyat i ineficaç dur a terme el llarg i laboriós procés de disseny i muntatge d'una base de dades atesa la completa prescindibilitat d'aquesta.

Capítol 9

Implementació i resultats

En aquest capítol es descriu, a grans trets, com s’ha anat avançant en la implementació de l’aplicació, quines decisions s’ha pres i per què i els resultats d’identificació obtinguts.

9.1 Feina prèvia a la implementació

Abans de començar la implementació de l’aplicació hi havia dos requeriments previs imprescindibles per poder desenvolupar-la. El primer era obtenir un nombre de mostres de cants de cigala suficient per assegurar que les característiques del cant trobades per a cada espècie no eren particulars de les gravacions analitzades sinó genèriques de l’espècie. A més, una gran quantitat d’enregistraments també era necessària per poder comprovar amb garanties el correcte funcionament de la identificació. El segon requisit depenia, al seu torn, d’aquest primer, i consistia a tenir clar si es pot diferenciar una espècie de cigala de la resta mitjançant una anàlisi automàtica d’una gravació del seu cant i, en cas afirmatiu, determinar la manera d’aconseguir-ho.

Un cop es va tenir clar quines espècies de cigala s’havia de tractar (totes aquelles la presència de les quals es coneix o no està descartada a Catalunya), es va procedir a obtenir-ne gravacions. El primer pas era, òbviament, descarregar totes les que es pogués trobar a Internet, procediment mitjançant el qual es va obtenir un bon nombre de cants, especialment de les espècies més comunes. A part d’això, el Grup de Recerca en Biologia Animal de la UdG va contribuir al projecte mitjançant la facilitació d’algunes gravacions addicionals; no obstant, encara hi havia moltes espècies per a les quals el nombre d’enregistraments era clarament insuficient, de manera que es va procedir a contactar amb diversos cigalòlegs europeus perquè en proporcionessin noves mostres.

El nombre de mostres totals de les quals s’ha pogut disposar, incloses les enregistrades personalment al llarg de l’estiu del 2016, és el total mostrat a la Taula 9.1, on també es pot comprovar la quantitat de gravacions de cada espècie concreta.

Espècie	Nombre d’enregistraments
<i>Cicada orni</i>	88
<i>Cicada barbara</i>	36
<i>Cicadatra atra</i>	42

<i>Cicadetta brevipennis</i>	57
<i>Cicadetta cerdaniensis</i>	18
<i>Hilaphura varipes</i>	4
<i>Lyristes plebejus</i>	39
<i>Tettigettalna argentata</i>	32
<i>Tettigettula pygmea</i>	45
<i>Tibicina corsica</i>	22
<i>Tibicina garricola</i>	16
<i>Tibicina haematodes</i>	28
<i>Tibicina quadrisignata</i>	19
<i>Tibicina tomentosa</i>	22
Total	468

Taula 9.1: Nombre de mostres de cada espècie

La conclusió més visible que es pot extreure de la Taula 9.1 és que hi una gran variació del nombre d'enregistraments dels quals s'ha disposat en funció de l'espècie. La causa principal d'aquestes diferències és la facilitat amb què es pot trobar individus de cada espècie, ja que n'hi ha d'abundants, d'altres més escasses, etcètera. És palmari que el nombre de gravacions de *Hilaphura varipes* és clarament insuficient i podria donar-se el cas que aquesta espècie canti d'una o més maneres diferents de la que s'ha analitzat en aquests quatre fitxers. Tanmateix, malgrat els esforços, no ha estat possible obtenir-ne més mostres atesa la seva reduïda distribució (és comuna bàsicament al sud d'Espanya) i la fretura d'enregistraments del seu cant.

Quant a les altres espècies amb poques gravacions (<35), es tracta de cigales amb un cant del tot diagnòstic i distint (*Cicadetta cerdaniensis* i *Tettigettalna argentata*) o bé de cigales el cant de les quals ja ha estat analitzat prèviament per altres cigalòlegs (gènere *Tibicina*), amb la qual cosa la manca d'abundància d'enregistraments d'aquestes espècies no ha acabat resultant transcendent per als resultats del treball.

Moltes d'aquestes gravacions no han estat disponibles durant l'etapa d'anàlisi dels patrons propis del cant de cada espècie, però en fer les proves s'ha corroborat que, malgrat haver estat enregistrades en zones geogràfiques allunyades les unes de les altres (dins del que és el Paleàrtic Occidental), les característiques considerades definitòries del cant es compleixen en tots els casos en què la qualitat de l'enregistrament ha permès comprovar-ho. A la secció de la implementació del càlcul de semblances es concreta més els trets distintius que s'ha trobat per a cada espècie, així com aquells dels quals ja hi havia bibliografia i que s'ha constatat genèrics i útils per a la identificació de l'espècie que els presenta.

9.2 Processament del fitxer de so i eliminació de soroll

Aquest és el primer apartat que es va implementar ja que, per poder analitzar els cants i determinar-ne les semblances amb cada espècie, és necessari saber primer quines parts del fitxer contenen el cant i que aquest es presenti de la manera més nítida possible.

El primer pas és el de llegir les amplituds respecte del temps contingudes a la gravació, les quals serviran per identificar les iteracions de cant de l'individu enregistrat, així com la pràctica totalitat de les característiques del cant. Per il·lustrar-ho amb un exemple, les Figures 5.1, 5.2 i 5.3, del capítol 5, representen gràficament la llista d'amplituds del cant respecte del temps. Per poder obtenir-les s'ha d'accedir a la informació del flux d'àudio del fitxer en qüestió i transformar els bytes que aquest conté en valors d'amplitud.

Un cop es té la llista d'amplituds en domini temporal del fitxer d'àudio i es coneix l'espai de temps que ocupa cada valor d'amplitud, el proper pas és calcular la transformada de Fourier per obtenir la llista d'amplituds del cant en domini freqüencial, és a dir, l'amplitud per cada unitat de freqüència en lloc de per cada unitat de temps.

La transformació de Fourier és una operació matemàtica que obté, a partir d'una funció temporal (x : Temps, y : Amplitud), les freqüències que la componen. El resultat d'aquesta operació és una funció de valors complexos, on el valor absolut representa l'amplitud de cada freqüència present a la funció original i el valor imaginari és la fase de la sinusoide bàsica en aquesta freqüència. Amb aquesta llista es pot saber quines són les freqüències que es manifesten amb més potència a la gravació, que seran, sempre que el soroll sigui raonable, les del cant de cigala que es vol identificar. En altres paraules, el resultat obtingut permet conèixer de manera aproximada l'espectre freqüencial del cant enregistrat.

L'equació de la transformada de Fourier és la següent:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)W_N^{kn}$$

on

$$k = 0, \dots, N - 1$$

i

$$W_N = e^{-i2\pi/N}$$

\mathbf{X} , la llista de nombres complexos resultant del càlcul de la transformada, conté els coeficients de Fourier obtinguts a partir de \mathbf{x} , la llista d'amplituds en domini temporal de la gravació. Quant a $e^{-i2\pi/N}$, es tracta d'una sinusoide complexa que permet determinar el valor real i imaginari de cada coeficient. Imaginant una circumferència amb un eix corresponent als valors reals i un altre corresponent als valors imaginaris, els valors real i imaginari resultants vindrien determinats de la manera representada a la Figura 9.1.

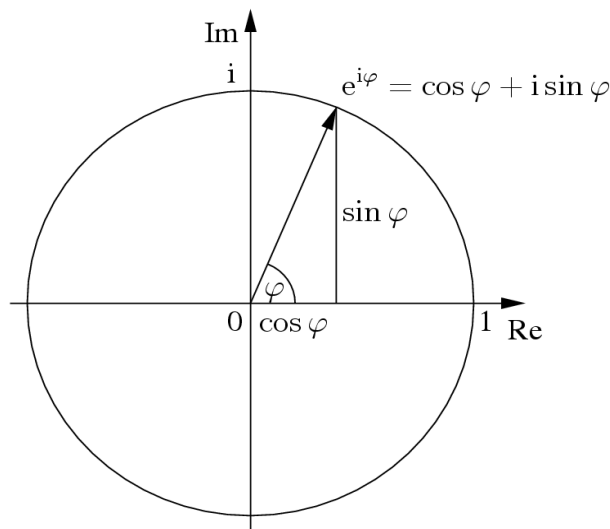


Figura 9.1: Fórmula d'Euler en un pla complex

La tècnica que s'ha implementat per obtenir aquest resultat és la FFT (transformada ràpida de Fourier), amb l'objectiu que el càlcul sigui ràpid i eficient. La FFT no és res més que un algorisme que permet calcular la DFT (transformada discreta de Fourier) en un temps molt inferior per a llistes llargues (de l'ordre de $N \cdot \log(N)$ en lloc de N^2) gràcies a tenir en compte les propietats de periodicitat ($W_N^{k+N} = W_N^k$) i simetria ($W_N^{k+N/2} = -W_N^k$) del factor de fase de l'equació, W_N .

Havent calculat la transformada, el següent pas és eliminar el soroll de la gravació. Amb aquest propòsit, s'escala el resultat de la FFT a un nombre de valors molt més reduït per poder treballar-hi més eficientment i es determina les freqüències de tall del cant, és a dir, entre quines freqüències es considera que les dades no són soroll. No hi ha unes freqüències de tall definides i comunes a tots els fitxers, sinó que són calculades a partir dels valors d'amplitud en domini freqüencial de la gravació.

Com es pot comprovar a les gràfiques **a** i **b** de la Figura 9.2, en ambdues gravacions el soroll arriba a ser fins i tot més potent que el cant. Malgrat tot, en aquests casos també es pot saber el rang de freqüències del cant de manera aproximada, ja que generalment el soroll correspon al vent o altres sons que difícilment arriben a les freqüències predominants dels cants de cigala. Conseqüentment, encara que el soroll soni amb molta potència, quasi sempre hi ha una pujada pronunciada d'amplituds corresponent a l'inici del rang de freqüències del cant, i és en aquest punt on s'estableix la freqüència mínima per al filtratge. De totes maneres, cal admetre que es tracta d'una tècnica fal·libre, perquè en cas que el soroll sigui especialment intens a les freqüències anteriors a aquesta pujada, fins al punt que aquesta quedi emmascarada, la presència de soroll pot romandre notable fins i tot després del filtratge. Així doncs, per assegurar, com a mínim, eliminar el soroll més potent, corresponent al rang de freqüències més baix, el que es fa és iniciar la freqüència de tall inferior a 2000 Hz, ja que els cants de totes les espècies de cigala tractades sonen amb freqüències més altes que aquesta.

Quant al límit superior de freqüència, es pren com a base el mateix criteri, tot i que no és gens habitual trobar soroll a cotes de freqüència més altes que les del propi cant de cigala, de manera

que, si el límit no és inconcís, no es marca cap freqüència màxima. A la Figura 9.2, en el cas de la *Cicada orni* es filtraria les freqüències si fa no fa entre els 2200 i els 7000 Hz, mentre que en el cas de la *Tettigettula pygmea* les freqüències de tall serien d'aproximadament 2000 i 12000 Hz, respectivament.

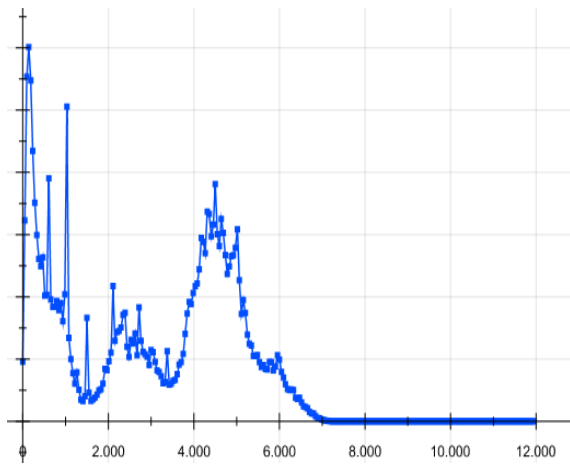
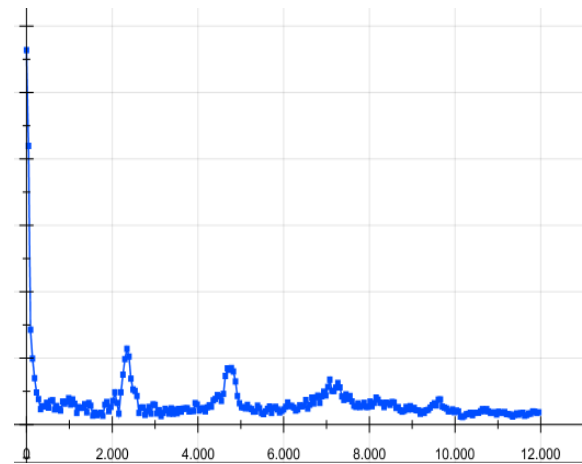
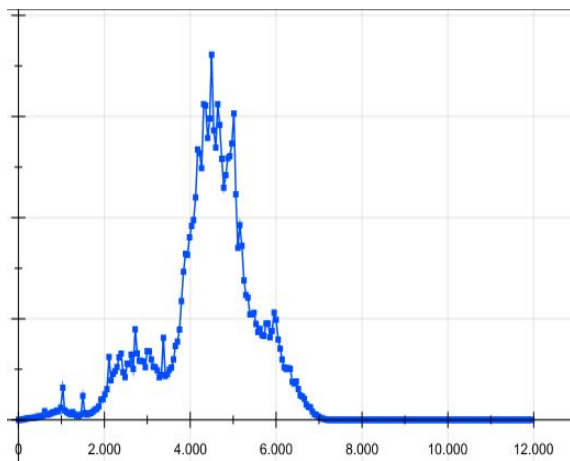
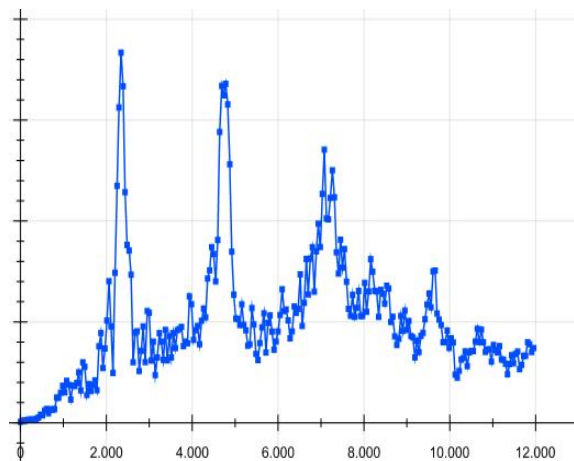
(a) Enregistrament de *Cicada orni*(b) Enregistrament de *Tettigettula pygmea*(c) Enregistrament **a** filtrat(d) Enregistrament **b** filtrat

Figura 9.2: Distribucions freqüencials de dos cantos abans i després de ser filtrats

A partir de les freqüències de tall determinades, es calcula els coeficients de Butterworth per a un filtre passabanda, és a dir, un filtre amb un mínim i un màxim que conserva les freqüències compreses entre aquests. Es va escollir el filtre de Butterworth perquè, gràcies a les proves que es va dur a terme amb el Matlab, va ser confirmat com al que donava millors resultats. El que fa aquest filtre és eliminar o reduir enormement les amplituds per als sons que quedin fora del rang de freqüències indicat, i perquè el tall no sigui sec, la qual cosa podria comportar importants distorsions en el domini temporal, són disminuïdes cada cop menys a mesura que les freqüències

dels sons s'acosten al llindar indicat. La Figura 9.3 mostra un exemple del factor multiplicador que s'aplica a les amplituds amb un filtre passabanda de Butterworth, en funció dels diferents ordres utilitzats. En el cas d'aquesta aplicació, s'ha escollit un ordre de 2 amb l'objectiu d'aplicar un filtre suau que eviti les distorsions ja esmentades.

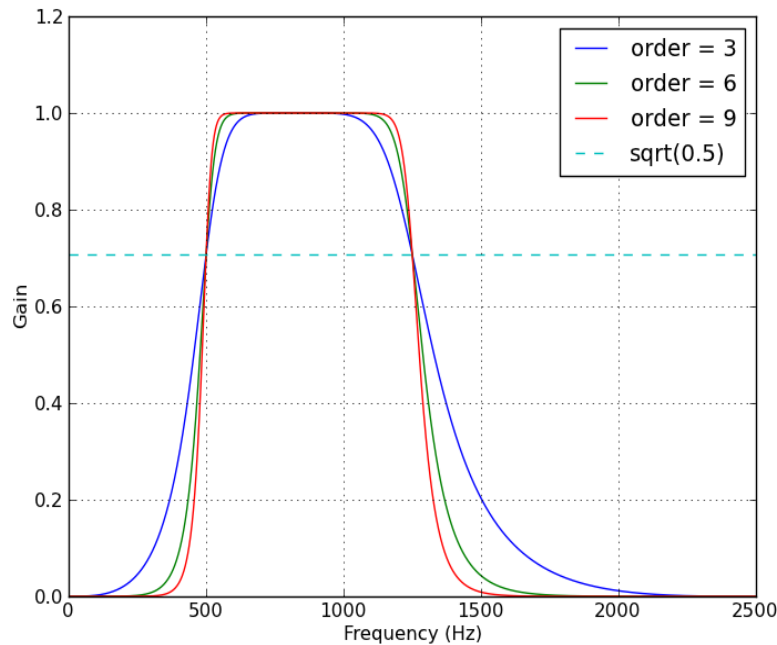


Figura 9.3: Filtre passabanda de Butterworth amb diferents ordres

Un cop es té els coeficients calculats només queda aplicar el filtre. L'Algorisme 9.1 conté la implementació d'un filtre digital unidimensional, necessari per modificar les amplituds a partir dels coeficients de Butterworth.

Algorisme 9.1: Filtre passabanda de freqüències

```
int p, q;
double suma;
ArrayList<Double> amplitudsModificades = new ArrayList<>();
amplitudsModificades.addAll(valorsAmplitudMono);

Parella<ArrayList<Double>, ArrayList<Double>> coeficientsPassaBanda =
    obtinguesCoeficientsPassaBanda(coefX,coefY);
ArrayList<Double> a = coeficientsPassaBanda.obtinguesPrimer();
ArrayList<Double> b = coeficientsPassaBanda.obtinguesSegon();

for(int i = a.size(); i < valorsAmplitudMono.size() - 1; i++) {
    suma = 0;
    for(p = 1; p < a.size(); p++) {
        suma -= a.get(p) * amplitudsModificades.get(i-p);
```

```
    }  
    for(q = 0; q < b.size(); q++) {  
        suma += b.get(q) * valorsAmplitudMono.get(i-q);  
    }  
    amplitudsModificades.set(i, suma);  
}  
  
return amplitudsModificades;
```

Si es calcula la FFT abans i després del filtratge, com a la Figura 9.2, es pot veure com el soroll quasi ha desaparegut de les gràfiques. Això sí, encara que les gràfiques puguin donar la impressió que les amplituds del cant han augmentat amb el filtratge, en realitat no és així, simplement s'han mantingut. Aparenten tenir valors superiors perquè, després d'haver aplicat el filtre, el punt d'amplitud més alt ja no ve marcat pel soroll sinó pel cant. També es pot apreciar, a la Figura 9.4, el canvi a la representació de les amplituds en funció del temps, molt més nítida i amb els cants més definits després del filtratge.

Un altre factor que es té en compte abans d'iniciar l'anàlisi és la possible presència de cants d'individus de diferents espècies en un mateix enregistrament. Sovint no es pot evitar que, en gravar una cigala, hi hagi un o més individus d'altres espècies cantant de fons que puguin causar una certa distorsió tant a l'anàlisi freqüencial com a la d'amplituds. Per comprovar si es dona aquesta condició, s'analitza el resultat obtingut de la FFT intentant trobar pics de freqüència diàfanament diferenciats i, en cas que es pugui concloure amb certesa que es tracta de dos cants diferents, el que es fa és eliminar el cant que s'estima més llunyà i conservar el més proper, que és el que, amb tota probabilitat, s'haurà intentat identificar.

L'atípica gràfica d'amplituds respecte de la freqüència representada a l'apartat **a** de la Figura 9.5 mostra clarament dos pics de freqüències molt diferents, cadascun corresponent a una de les espècies enregistrades. En aquest enregistrament, malgrat que els dos cants presentin una potència semblant, es conservarà el de l'espècie a la qual correspon el segon pic de freqüència, ja que les freqüències d'emissió del primer pic indiquen que pertany indubtablement a una espècie del gènere *Cicada*, les quals canten amb una potència netament superior a qualsevol de les altres espècies tractades a l'aplicació, exceptuant la *Lyristes plebejus*, que també canta amb freqüències relativament baixes. Per tant, veient la potència de cada pic, queda palès que l'individu o els individus de *Cicada sp.* estaven cantant des d'una posició més distant respecte a l'enregistrador que l'individu de l'altra espècie.

L'apartat **b** de la Figura 9.5 mostra una gràfica amb dos pics (aproximadament 2500-7500 i 10000-? Hz) notòriament menys marcats, com és habitual, de manera que en aquest cas l'aplicació no pot determinar amb precisió les freqüències pertanyents a cada cant, ni tan sols assegurar que es tracti d'espècies diferents. En conseqüència, seguint el criteri de prudència, no es filtra cap dels dos cants, amb la qual cosa és d'esperar que no es pugui identificar amb certesa cap de les dues espècies gravades. És per aquest motiu que, si es vol obtenir resultats fiables, cal evitar enregistrar individus de diferents espècies cantant alhora i amb potències semblants, condició que s'adverteix explícitament a les instruccions d'ús de l'aplicació.

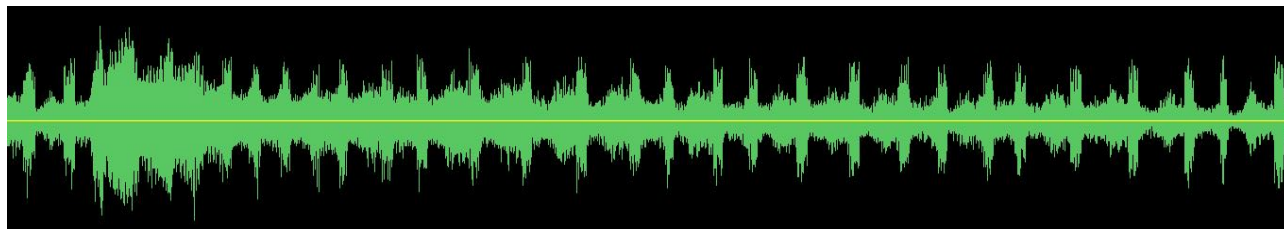
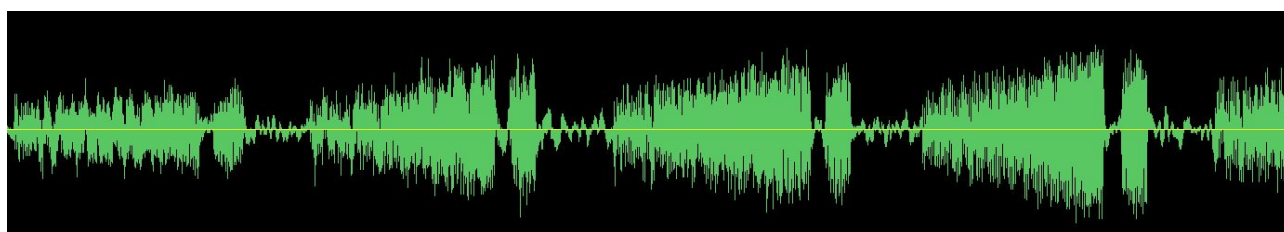
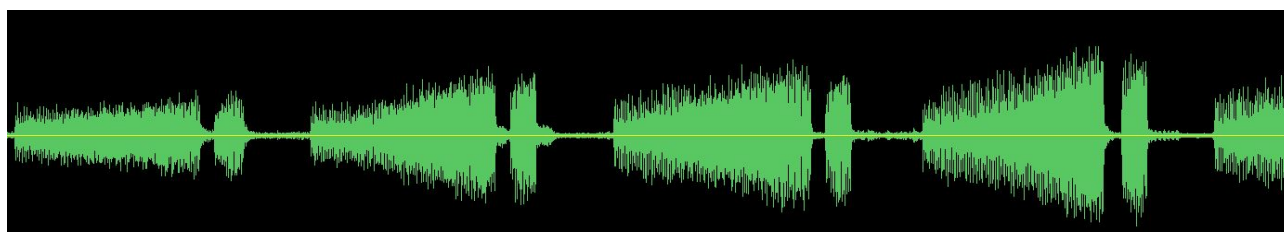
(a) Cant de *Cicada orni* sense filtrar(b) Cant de *Cicada orni* filtrat(c) Cant de *Tettigettula pygmaea* sense filtrar(d) Cant de *Tettigettula pygmaea* filtrat

Figura 9.4: Mostra de les amplituds respecte del temps dels cants de *Cicada orni* i de *Tettigettula pygmaea* mostrats a la Figura 9.2

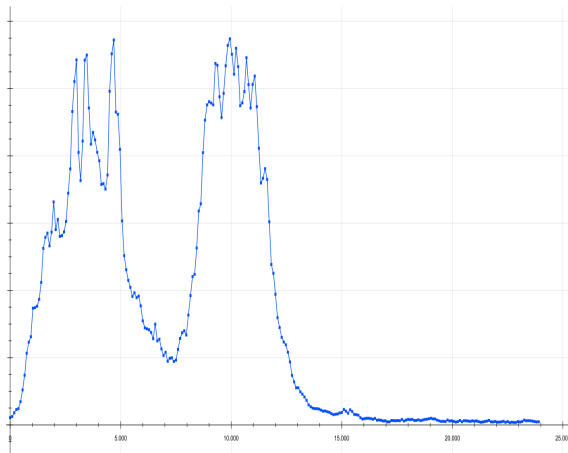
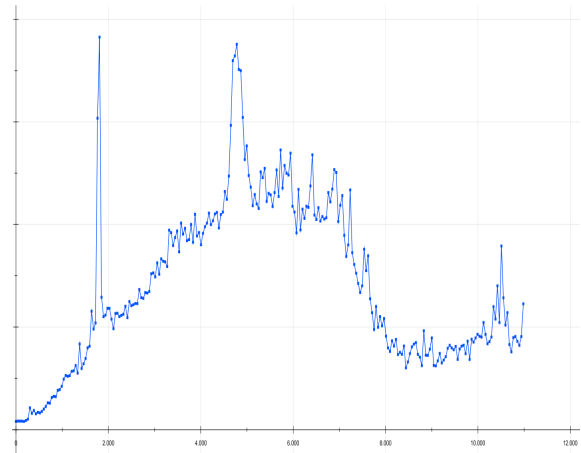
(a) Enregistrament de *Cicadatra atra* amb *Cicada orni* cantant de fons(b) Enregistrament de *Tettigettalna argentata* i *Cicada orni*

Figura 9.5: Distribucions freqüencials de dos enregistraments amb més d'una espècie cantant alhora

Finalment, atesa la poca potència amb què els enregistradors dels mòbils capten els sons emesos a distància, s'amplifica el cant tant com sigui possible sense distorsionar-ne els valors de manera significativa. Òbviament, un cant enregistrat a distància i posteriorment amplificat tindrà una qualitat més baixa que un cant enregistrat de prop, però l'amplificació és de gran ajuda quan l'usuari no es pot acostar més a l'individu que vol gravar i l'enregistrador del telèfon percep el cant de manera tènue. S'aplica aquesta transformació un cop filtrat el soroll perquè el que marca la mesura en què es pot amplificar el so sense distorsionar-lo són els sons més potents de la gravació, i és habitual que el soroll tingui més potència que el propi cant. Per tant, un cop s'ha filtrat el soroll, s'assegura que els sons més alts pertanyen al propi cant i, consegüentment, aquest és el que determina en quants decibels es pot incrementar la potència del so.

9.3 Anàlisi dels cants

Com a resultat de l'anàlisi de les mostres de cants de cigala de les quals es disposava abans d'implementar aquesta part de l'aplicació, es va poder determinar quines característiques s'havia d'analitzar per poder dur a terme la identificació posterior. També es va tenir en compte la bibliografia que ja hi havia sobre algunes característiques dels cants de determinades espècies, la qual s'informarà al capítol 12. D'entre els paràmetres que s'ha decidit analitzar, n'hi ha que són útils per diferenciar dues espècies, n'hi ha que directament permeten classificar la cigala enregistrada en un grup d'espècies i fins i tot hi ha vegades en què la combinació de dues o tres característiques ja és diagnòstica per si sola d'una espècie concreta.

El que es fa, doncs, és analitzar el cant per tal d'assignar un valor a tots els paràmetres que s'ha considerat útils per a la identificació. A continuació es descriu breument el procés aplicat per calcular les característiques més transcendents per a la identificació.

9.3.1 Durada del cant

La durada és una propietat primordial a l'hora d'identificar un cant de cigala, ja que per si sola permet descartar directament moltes espècies que no s'hi ajusten. La Taula 9.2 mostra els rangs de durada dels cants de cada espècie.

Espècie	Rang de durada (ms)	Durada habitual (ms)
<i>Cicada orni</i>	25-400	50-170
<i>Cicada barbara</i>	>1000	>10000
<i>Cicadatra atra</i> ¹	>100	200-20000
<i>Cicadetta brevipennis</i> ²	>1000 o (700-10000 i 20-130)	>10000 o (1800-7000 i 50-95)
<i>Cicadetta cerdaniensis</i>	20-300	30-180
<i>Hilaphura varipes</i>	120-450	170-360
<i>Lyristes plebejus</i> ³	20-100, >1000	35-80, 2500-7500
<i>Tettigetta argentea</i>	10-70	15-40
<i>Tettigetta pygmaea</i> ⁴	110-450 o (300-600 i 30-95)	170-260 o (370-530 i 45-80)
<i>Tibicina corsica</i> ⁵	>700	>10000
<i>Tibicina garricola</i> ⁵	>700	>10000
<i>Tibicina haematodes</i> ⁵	>700	>10000
<i>Tibicina quadrisignata</i> ⁶	>100	250-500, >1000
<i>Tibicina tomentosa</i> ⁵	>700	>10000

Taula 9.2: Durades dels cants de cada espècie

Per conèixer la durada dels cants el primer pas és saber a quins trams del fitxer de so hi ha un cant de cigala. Amb aquest objectiu, s'analitza la distribució d'amplituds en domini temporal al llarg del fitxer i es determina a partir de quin llinar d'amplitud un fragment pot ser considerat part del cant principal (encara que el fitxer estigui filtrat, pot quedar algun altre cant de cigala de fons, reclams o cants d'ocells, etcètera, els quals no han de ser tinguts en compte). Per il·lustrar-ho

¹Pot fer tant cants curts i repetitius com cants continus.

²Quan canta sol emetre un cant llarg que precedeix un cant molt més curt que ve tot seguit. També pot emetre un cant totalment continu.

³Emet un cant continu, però amb unes oscil·lacions que van esdevenint cada cop menys marcades, fins a desaparèixer, a mesura que avança el cant. La durada que s'apunta és la d'aquestes oscil·lacions d'amplitud repetitives quan poden ser detectades.

⁴Pot donar-se el cas que canti amb l'estil ², és a dir, amb un cant llarg seguit d'un cant més curt a cada iteració (n'hi ha un exemple a la imatge **d** de la Figura 9.4).

⁵El seu cant és continu, no iteratiu, però en funció de les circumstàncies en què es dona el cant, aquest pot estar trencat, com es mostra a la Figura 9.6. En aquests casos, la durada de cada part del cant és totalment variable.

⁶Pot emetre cants repetitius de poca durada, com es mostra a la primera imatge de la Figura 5.3, però també cants llargs, els quals també poden estar trencats.

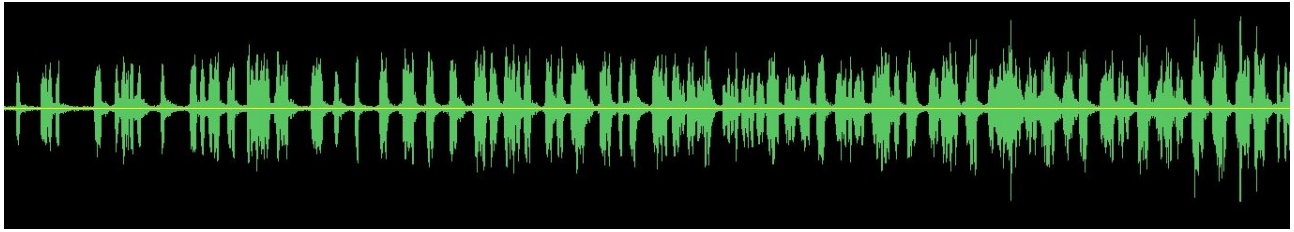


Figura 9.6: Cant trencat de *Tibicina corsica fairmairei*

simplificadament, si en un fitxer d'un minut de durada hi ha 30 segons amb amplituds inferiors a 20 dB, 5 segons amb amplituds entre 20 i 50 dB i els 25 segons restants amb amplituds superiors als 50 dB, la conclusió lògica és que els trams del primer grup pertanyen al so de fons, els del segon a les pujades i baixades d'amplitud corresponents als inicis i finals, respectivament, de cada iteració de cant, i els del tercer a les iteracions del cant de cigala en si.

Un cop determinat aquest llindar, el primer que es fa és agrupar les amplituds en blocs d'uns pocs milisegons i anar estimant quan s'acaba i quan comença cada iteració de cant. Després d'aquesta anàlisi inicial, es repassa de manera exhaustiva les iteracions trobades, ajustant-ne els inicis i finals amb una major precisió i assegurant que no s'ha separat una iteració en dues de diferents per un descens puntual de la seva amplitud i que no s'ha ajuntat dues iteracions en una de sola a causa del possible soroll romanent a la gravació entre el final de la primera iteració i l'inici de la segona.

D'altra banda, els coeficients que s'utilitza per determinar aquests inicis i finals varien en funció del tipus de cant, ja que en algunes espècies aquests canvis són més notoris (comencen i acaben el cant de manera inconcussa, les iteracions de cant es troben clarament separades entre elles...) que en d'altres. Hi ha casos en què les iteracions de cant són veritablement subtils, amb un progressiu increment d'amplitud fins a arribar a la potència màxima del cant, i d'altres en què els grups de polsos que conformen un cant continu estan notablement definits i s'ha d'evitar considerar-los com a cants independents. A més, les condicions dels enregistraments són altament variables i és possible que es gravi diversos individus de cop, que la cigala enregistrada canti de lluny, etcètera, de manera que l'anàlisi també inclou comprovacions sobre aquests factors per minimitzar-ne l'impacte en els resultats. Així mateix, les durades obtingudes passen per un filtre de seguretat que elimina aquelles que són, amb total seguretat, incorrectes.

9.3.2 Durada del silenci

La durada del silenci entre dues iteracions de cant, tot i ser més variable que la durada del cant en si, també és diferent entre algunes de les espècies tractades i pot ser d'ajuda en la identificació. La Taula 9.3 mostra els rangs de durada d'aquests silencis per a cada una de les espècies que emeten cants curts i repetitius.

Espècie	Rang de durada (ms)	Durada habitual (ms)
<i>Cicada orni</i>	25-400	50-170

<i>Cicadatra atra</i>	50-400	100-300
<i>Cicadetta brevipennis</i> ⁷	20-130 i 30-5000	50-95 i 140-2000
<i>Cicadetta cerdaniensis</i>	100-2000	170-1500
<i>Hilaphura varipes</i>	20-280	30-220
<i>Tettigettaalna argentata</i>	10-140	55-85
<i>Tettigettula pygmea</i> ⁸	40-280 o (10-70 i 40-280)	80-160 o (20-50 i 80-160)

Taula 9.3: Durades dels silencis de cada espècie

Cal aclarir que només es té en compte aquest factor en cas que els cants siguin repetitius, no continus, ja que alguna de les espècies que apareix a la taula pot emetre cants de tots dos tipus. En el cas dels cants continus, aquest paràmetre és totalment inservible de cara a la identificació a causa de la seva elevada variabilitat. Quant a l'obtenció de la durada dels silencis, no s'ha hagut d'implementar codi addicional, perquè en obtenir la durada dels cants i la seva situació dins de l'enregistrament es pot conèixer també els silencis entre cada iteració del cant (el que no és cant és silenci).

D'altra banda, a part de la durada dels silencis en si, també es té en compte la ràtio entre la durada de les iteracions del cant i la dels silencis entre aquestes, paràmetre que, tot i ser molt variable, pot arribar a ser francament útil en la diferenciació d'algunes espècies concretes. La Taula 9.4 mostra les proporcions habituals a les espècies que poden emetre cants iteratius.

Espècie	Durada dels silencis en relació amb la dels cants (%)
<i>Cicada orni</i>	40-230
<i>Cicadatra atra</i>	40-120
<i>Cicadetta brevipennis</i>	25-230
<i>Cicadetta cerdaniensis</i>	300-3200
<i>Hilaphura varipes</i>	25-80
<i>Tettigettaalna argentata</i>	230-900
<i>Tettigettula pygmea</i>	30-185

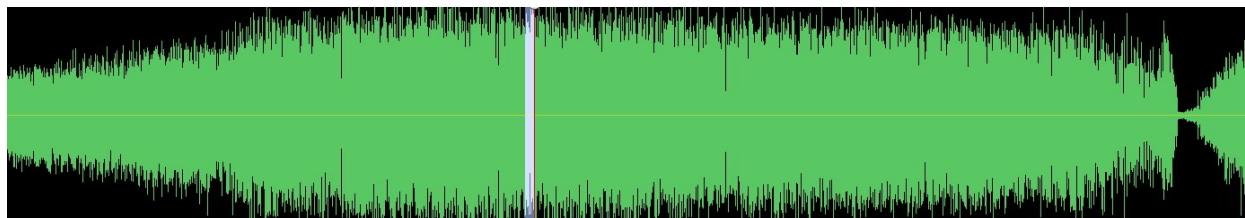
Taula 9.4: Proporcions entre les durades de cant i de silenci de cada espècie

⁷Quan canta sol emetre un cant llarg que precedeix un cant molt més curt que ve tot seguit. Els rangs que s'anota corresponen als silencis entre el cant llarg i el cant curt que el segueix i entre aquest i el següent cant llarg, respectivament.

⁸Pot donar-se el cas que canti amb l'estil ⁷, és a dir, amb un cant llarg seguit d'un cant més curt a cada iteració. Per això s'anota, com a segona opció, els rangs de la durada dels silencis de la mateixa manera que es fa amb la *Cicadetta brevipennis*.

9.3.3 Nombre de grups de polsos per segon

Aquest és el paràmetre més important a l'hora de diferenciar les cinc espècies del gènere *Tibicina* amb les quals s'ha treballat entre elles. El cant continu que emeten aquestes cigales, encara que els humans no puguem percebre-ho, està compost per breus polsos de so agrupats entre ells que se succeeixen al llarg de tot el cant. Es pot comprovar-ho a la Figura 9.7.



(a) Enregistrament de *Tibicina tomentosa*



(b) Ampliació del segment marcat a la imatge superior

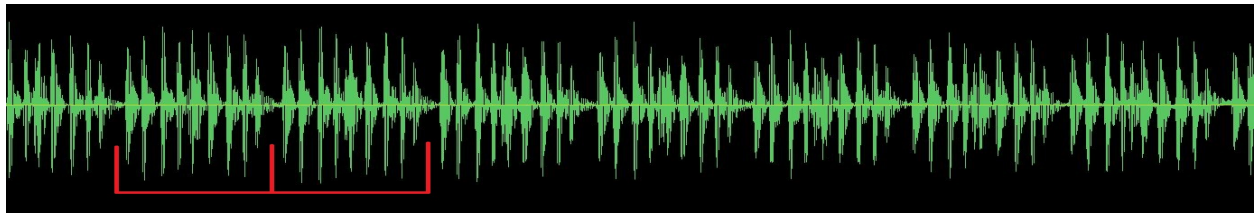
Figura 9.7: Grups de polsos d'un cant de *Tibicina tomentosa*

Els cants de les espècies d'aquest gènere són pràcticament idèntics entre ells, però els grups de polsos que els componen tenen una durada diferent en cada una de les cinc espècies i, consegüentment, esdevenen un factor clau en la seva diferenciació. El valor que es calcula és el nombre de grups de polsos emesos per segon (NGP/s), el qual és inversament proporcional a la durada d'aquests. La Taula 9.5 conté el rang de NGP/s de cada una d'aquestes cinc espècies.

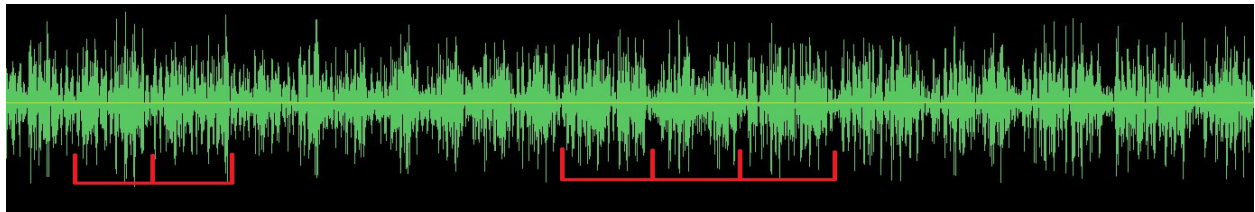
Espècie	Rang de NGP/s	NGP/s habitual
<i>Tibicina corsica</i>	56-68	59-65
<i>Tibicina garricola</i>	63-74	66-71
<i>Tibicina haematodes</i>	85-110	90-105
<i>Tibicina quadrisignata</i>	67-85	73-80
<i>Tibicina tomentosa</i>	138-185	145-180

Taula 9.5: Nombre de grups de polsos per segon de cada espècie del gènere *Tibicina*

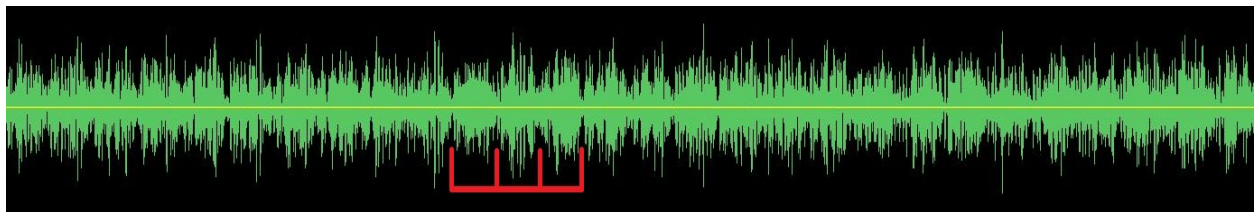
Com es pot comprovar, les diferències són força subtils entre algunes espècies, en què els rangs fins i tot se solapen, de manera que és de vital importància que l'anàlisi tingui un alt grau de precisió. Tanmateix, obtenir aquest valor de manera automàtica no és trivial. Quan s'ha enregistrat la cigala de ben a prop i la qualitat de l'àudio és bona, els grups de polsos apareixen de manera clara i distinta, com es pot veure a les gràfiques **b** de la Figura 9.7 i **a** de la Figura 9.8. La gran majoria de gravacions, però, presenten una definició semblant a la que mostra la imatge **c** de la Figura 9.8.



(a) Grups de polsos clarament distingibles d'una *Tibicina quadrisignata*



(b) Grups de polsos d'una altra *Tibicina quadrisignata*, aquest cop menys definits



(c) Grups de polsos d'una *Tibicina garricola*, no tan destacats com en els casos anteriors

Figura 9.8: Grups de polsos de cants de cigales pertanyents al gènere *Tibicina*

L'habitual és que la definició dels grups de polsos sigui com la de la imatge **c** de la Figura 9.8, on hi ha una part dels grups de polsos que no es pot distingir però una altra que sí, encara que aquests grups es manifestin de manera subtil. Es pot observar el mateix a la imatge **b** de la mateixa Figura, tot i que amb alguns dels grups de polsos clarament més distingibles: els de la part dreta de la gràfica són, en bona mesura, més evidents que els de la part esquerra de la mateixa.

Quant a la implementació, el primer que es té en compte és la durada del cant, ja que aquests cants continus poden tenir una durada indefinida. Per tant, per comprovar el nombre de grups de

polsos per segon (NGP/s), l'aplicació analitza la part del cant que pugui en un temps limitat, per tal d'evitar una espera carregosa a l'usuari si aquest ha estat enregistrant el cant durant minuts o hores. En cas que el cant sigui molt llarg i no es pugui analitzar-lo tot, se n'analitza fragments separats per assegurar una major representativitat dels resultats.

Durant l'avaluació de NGP/s, el que fa l'aplicació és cercar els petits increments o descensos d'amplituds que indiquen l'inici o el final, respectivament, d'un nou grup de polsos (GP). Val a dir que aquesta anàlisi és més fal·lable que la de la durada dels cants, perquè en aquest cas les comprovacions són a una escala menor i, per tant, poden agrupar molts menys valors que les que es fa per a les durades dels cants. Per delimitar els cants s'ajunta les amplituds en grups d'1 ms, mentre que en el cas dels NGP/s és impossible agrupar tants valors i mantenir la precisió. Per exemple, una durada dels grups de polsos de 15 ms és indicativa de *Tibicina garricola*, mentre que una de 15.6 ms és pròpia d'una *Tibicina corsica*, o sigui que l'anàlisi ha de ser del tot escrupolosa en aquest aspecte i no agrupar valors de tal manera que es perdi aquesta exactitud. La contrapartida és que agrupar poques amplituds suposa una menor estabilitat dels valors comparats, perquè els valors d'amplitud atípics acaben tenint més influència. Si es té un conjunt de valors {1.2, 0.7, 1.3, 0.8, **5**, 1.0, 1.6, 0.9, 1.1, 1.1, 0.7, 1.2, 0.8, 0.6, 0.9, 1.1}, l'impacte global de la dada atípica (**5**) serà d'un 25%, ja que sense ella la mitjana seria 1.0 en lloc d'1.25, però si s'agrupa menys valors ({1.2, 0.7, 1.3, 0.8, **5**}) l'impacte és molt superior: d'un 80% (canvia la mitjana de 1.0 per una de 1.8). Després de valorar aquests dos aspectes i haver fet proves amb agrupacions de diferents mides, el que va funcionar millor és ajuntar les amplituds en grups de 0.25 ms.

A part de la necessitat d'una major precisió, aquesta anàlisi té un altre problema, que és la variabilitat dels valors d'amplitud dins de cada grup de polsos (GP). Observant la Figura 9.9 es pot comprovar que els GP que mostra la imatge tenen, cada un, dos pics d'amplitud, de manera tan marcada en alguns casos que un sol GP en pot arribar a semblar dos de diferents. Es pot evitar aquesta possible confusió fàcilment augmentant l'increment o el decrement d'amplitud requerits per considerar un inici o un final de grup de polsos, però això dificultaria o, directament, impediria, delimitar-los correctament en cants on estiguin menys definits, com ara el de la imatge **c** de la Figura 9.8. És per això que s'ha implementat un filtre exhaustiu dels grups de polsos trobats, per evitar tant els casos en què es parteixi un grup en **n** parts com els casos en què es consideri **n** grups com a un de sol. Per exemple, havent classificat **x** meitats de GP com a GGPP sencers i **y** GP sencers correctament, s'eliminarà els **x** valors incorrectes, atès que:

- Hi ha dos pics de durada diferenciats, corresponents als **x** i als **y** valors esmentats.
- Aquests pics de durada són massa diferents entre ells per considerar-los tots vàlids; un dels dos ha de ser incorrecte.
- S'ha trobat més grups de polsos amb la durada correcta que amb l'errònia (**y** > **x**).
- El segon pic (**y** valors) correspon a una durada habitual per a un GP, mentre que el primer pic (**x** valors) suposaria una durada més atípica i que no es correspon de manera exacta amb cap de les espècies tractades.

Figura 9.9: Grups de polsos d'una *Tibicina garricola*

En tractar-se d'una anàlisi delicada, només es té en compte els resultats en cas que s'hagi trobat un bon nombre de GP que els sostinguin, que estiguin mínimament definits i que siguin homogenis entre ells, amb l'objectiu d'assegurar-ne la fiabilitat i evitar falsos positius.

9.3.4 Freqüència

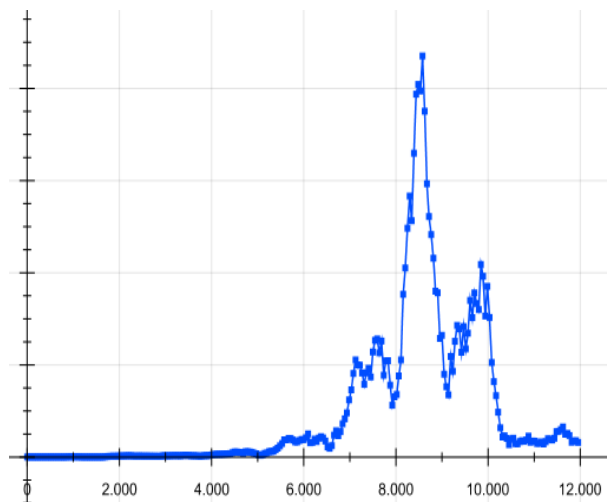
Un altre dels punts clau per a la diferenciació d'espècies de cigala és la freqüència d'emissió del seu cant. Es tracta d'un factor variable, que depèn tant del propi individu com de les circumstàncies en què canta, com ara la temperatura ambient: com més calor faci, més elevada serà la freqüència d'emissió del cant. Tanmateix, aquesta varia només dins d'uns certs rangs, i molts dels espectres freqüencials vàlids per a cada espècie són disjunts entre ells. Els rangs entre els quals es mouen les freqüències mitjanes de cada espècie són els que apareixen a la Taula 9.6.

Espècie	Rang de freqüència mitjana (Hz)	Freqüència mitjana habitual (Hz)
<i>Cicada orni</i>	3000-8000	4500-6500
<i>Cicada barbara</i>	5250-8250	6250-7250
<i>Cicadatra atra</i>	9250-13250	10250-12250
<i>Cicadetta brevipennis</i>	12750-18250	14250-16750
<i>Cicadetta cerdaniensis</i>	12250-19000	13750-17500
<i>Hilaphura varipes</i>	4750-10750	6750-8750
<i>Lyristes plebejus</i>	5000-10250	6500-8750
<i>Tettigettalna argentata</i>	8500-14500	10500-12500
<i>Tettigettula pygmea</i>	14500-20500	16500-18500
<i>Tibicina corsica</i>	7500-12000	9000-10500
<i>Tibicina garricola</i>	6250-10750	7750-9250
<i>Tibicina haematodes</i>	5000-9500	6500-8000
<i>Tibicina quadrisignata</i>	6500-11000	8000-9500
<i>Tibicina tomentosa</i>	6500-10500	7750-9250

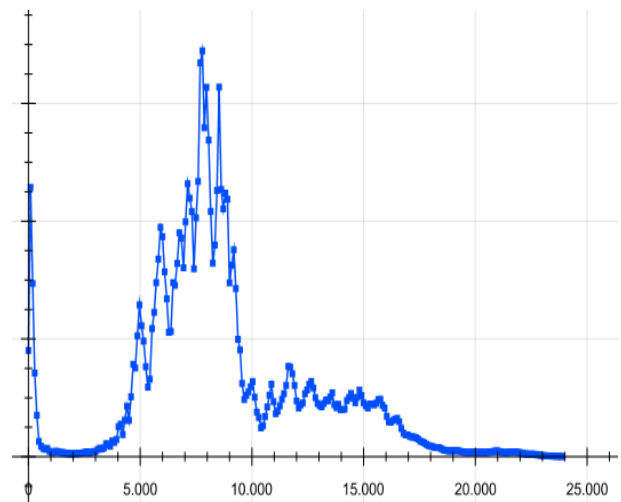
Taula 9.6: Rang de freqüències d'emissió de cada espècie

El fet de tenir calculada la transformada de Fourier del fitxer de so entrat possibilita saber amb quines freqüències s'ha emès el cant, atès que permet disposar de la seva llista d'amplituds en el domini freqüencial. Així, per conèixer la freqüència mitjana del cant només cal calcular la mitjana ponderada de les seves freqüències d'emissió a partir de les amplituds amb què es manifesta cada una.

A part d'això, però, també es fa ús dels resultats obtinguts amb la FFT per a la identificació de cigales del gènere *Tibicina* d'una altra manera. Hi ha casos, sobretot quan la qualitat de l'àudio és bona, en què unint els valors discrets de la FFT d'un cant de *Tibicina sp.* s'obté una gràfica amb tres pics d'amplitud, com es pot comprovar a la imatge **a** de la Figura 9.10. En d'altres casos, com a la imatge **b** de la mateixa figura, on no apareixen aquests pics de manera distinta, no es té en compte aquest paràmetre.



(a) Cant de *Tibicina quadrisignata* amb els tres pics freqüencials perfectament definits



(b) Cant de *Tibicina quadrisignata* sense els tres pics freqüencials marcats

Figura 9.10: Distribucions freqüencials de cants de *Tibicina quadrisignata* (Eix X: Freqüència, Eix Y: Amplitud)

Els rangs de freqüència de cada un dels pics, en Hz i per a cada espècie de *Tibicina*, són els mostrats a la Taula 9.7.

Espècie	Primer pic	Hab. 1r pic	Segon pic	Hab. 2n pic	Tercer pic	Hab. 3r pic
<i>T. corsica</i>	7250-10750	8250-9750	7750-12000	8750-11000	8750-12500	9750-11500
<i>T. garricola</i>	6250-10750	7750-9250	6750-10500	7750-9500	7750-11250	8750-10250
<i>T. haematodes</i>	4250-8000	5250-7000	5250-8750	6250-7750	6250-10000	7250-9000
<i>T. quadrisignata</i>	5750-10000	7250-8500	6250-10750	7750-9250	7250-11750	8750-10250

<i>T. tomentosa</i>	5500-10000	7000-8500	6250-11000	7750-9500	7500-12000	9000-10500
---------------------	------------	-----------	------------	-----------	------------	------------

Taula 9.7: Rangos generals i habituals dels pics de freqüència de cada espècie del gènere *Tibicina*

El codi implementat per trobar aquests pics no té gaire complexitat; es basa simplement en la cerca de màxims locals que compleixin una sèrie de condicions: cada un dels pics ha de trobar-se en un rang de freqüències concret (el primer pic no pot trobar-se als 12000 Hz, per posar-ne un exemple), han de destacar un mínim per sobre dels valors anteriors i posteriors, han d'estar separats entre ells per una distància correcta (el segon pic no pot trobar-se només 10 Hz més endavant que el primer, ni poden estar separats per 5000 Hz...), el pic més alt ha de ser el central, etcètera.

9.3.5 Altres paràmetres

A part dels paràmetres esmentats anteriorment, se'n calcula d'altres de complementaris que, tot i no ser tan rellevants, en alguns casos poden ser útils per identificar l'espècie a la qual pertany l'individu cantor. Són els següents:

- Batecs d'ales: Hi ha algunes espècies que, mentre canten, de vegades també fan bategar les ales, la qual cosa es reflecteix als enregistraments en forma de breus polsos d'amplitud que s'intercalen amb el cant en si. Se'n pot veure un exemple a la Figura 9.11.

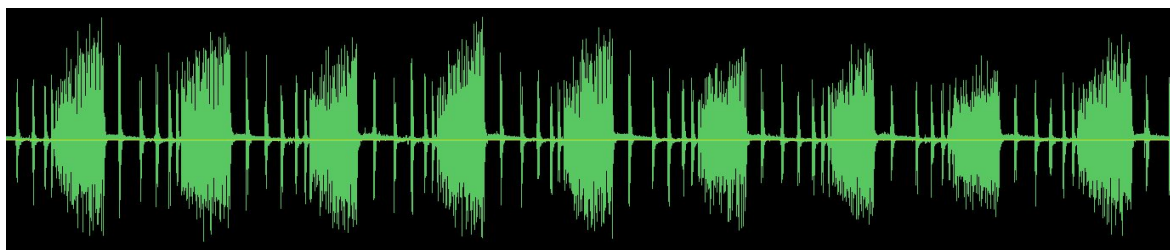
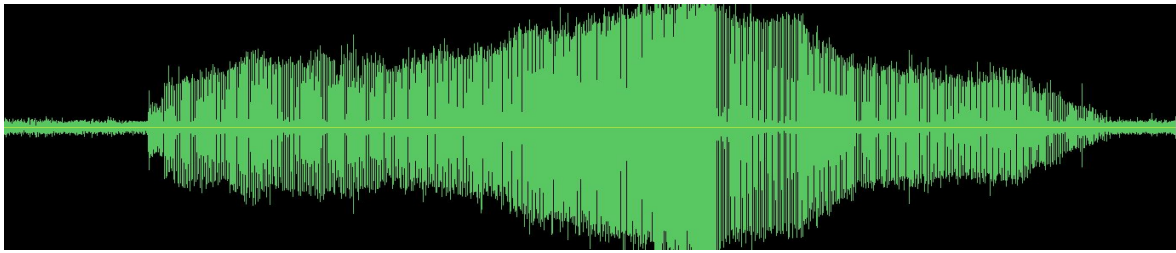


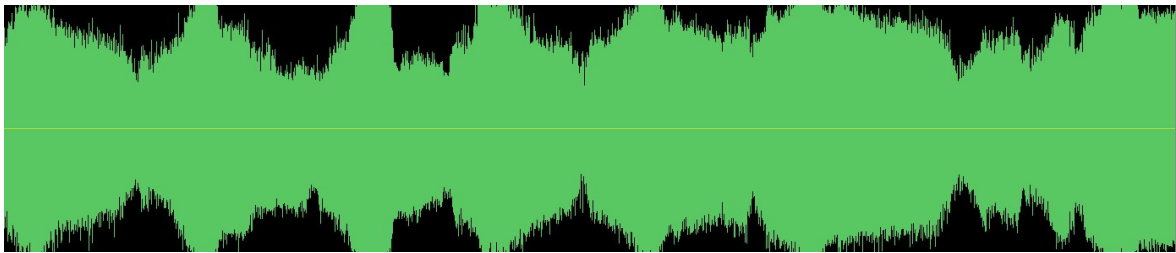
Figura 9.11: Cant de *Tettigettula pygmea* amb batecs d'ales entre cada iteració

La implementació d'aquest punt no representa cap complicació important, ja que els batecs es presenten generalment de forma clara i nítida i la seva durada és notòriament inferior a la de qualsevol cant, inclosos els de *Cicadetta cerdaniensis* i *Tettigettalna argentata*.

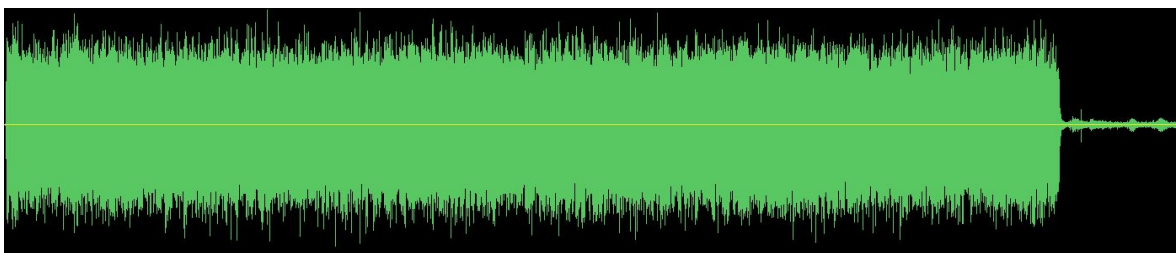
- Definició dels grups de polsos: A part de la durada, dels GGPP també se n'analitza la definició, atès que, qualitat de l'àudio a part, en algunes espècies de *Tibicina* els grups de polsos estan més marcats que en d'altres. Al cant de la *Tibicina tomentosa*, sobretot, els GGPP es presenten generalment de manera més evident que a qualsevol dels altres cants tractats, la qual cosa la converteix en l'espècie de *Tibicina* més fàcilment identificable (mitjançant algorismes) de les 5 amb les quals s'ha treballat.



(a) Exemple de cant continu amb variacions importants d'amplitud



(b) Segon exemple de cant continu amb variacions importants d'amplitud



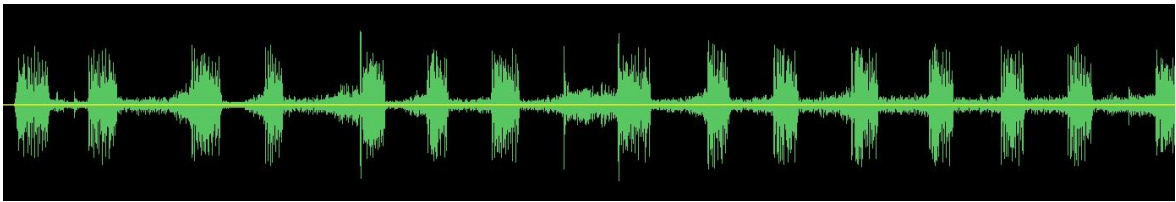
(c) Exemple de cant continu de potència constant

Figura 9.12: Cants de *Cicada barbara lusitanica*

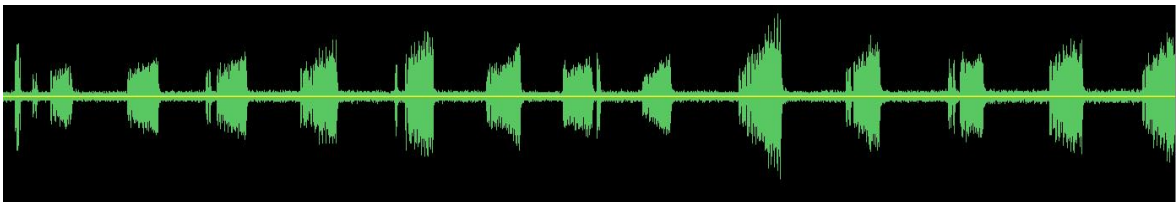
- Variació d'amplituds dins d'un cant continu: Hi ha cants continus que mentre duren es mantenen en una potència molt constant, però també n'hi ha que experimenten increments i decrements importants d'amplitud a mesura que avancen. Una de les espècies que pot presentar aquesta característica és la *Cicada barbara*, tot i que normalment el seu nivell d'amplitud roman constant durant el cant. Aquest paràmetre, per tant, només ajuda en la identificació quan el cant és continu i irregular, característica impròpia de quasi totes les espècies que s'ha tractat. La Figura 9.12 mostra exemples de cants continus de totes dues tipologies.
- Pendents del cant: Alguns dels cants repetitius que s'ha estudiat són emesos amb la seva potència màxima des de l'inici, mentre que n'hi ha d'altres que la van incrementant progressivament, els valors d'amplitud dels quals segueixen una línia de pujada fins a arribar al punt àlgid. Les diferències, però, van més enllà d'aquesta categorització binària: hi ha cants amb una pujada més pronunciada que d'altres, cants en què la pujada té lloc a l'inici i d'altres en què té lloc al final... Tots aquests factors són parametritzats per poder utilitzar-los durant la

fase d'identificació. La Figura 9.13 inclou mostres de cants amb diferents pendents.

- Correlació entre la potència dels cants i el silenci següent: Aquest és un paràmetre que només es té en compte per a la *Hilaphura varipes*. A partir dels pocs enregistraments d'aquesta espècie dels quals s'ha pogut disposar, ha cridat l'atenció que aquestes cigales, quan emeten un conjunt de cants curts seguits, cada unes quantes iteracions fan una pausa més llarga que les altres, i l'últim cant abans de cada una d'aquestes pauses és més llarg i/o potent que els que el precedeixen. Val a dir que, havent-ho pogut comprovar en només 4 gravacions, la confiança que es dona a aquesta característica és més aviat baixa, o sigui que s'utilitza només com a indicador complementari.



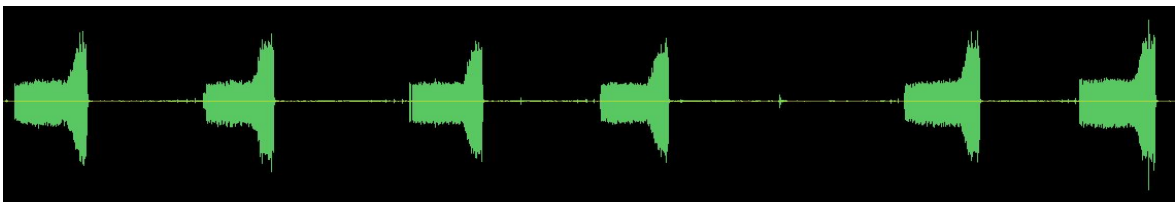
(a) Cant de *Cicada orni* totalment pla



(b) Cant de *Cicadatra atra* amb pendents variables entre les diferents iteracions del cant



(c) Cant de *Tettigettula pygmaea* amb una pujada d'amplituds a l'inici de cada iteració



(d) Cant de *Tibicina corsica fairmairei* amb una pujada d'amplituds al final de cada iteració

Figura 9.13: Cants amb diferents tipus d'increment d'amplituds

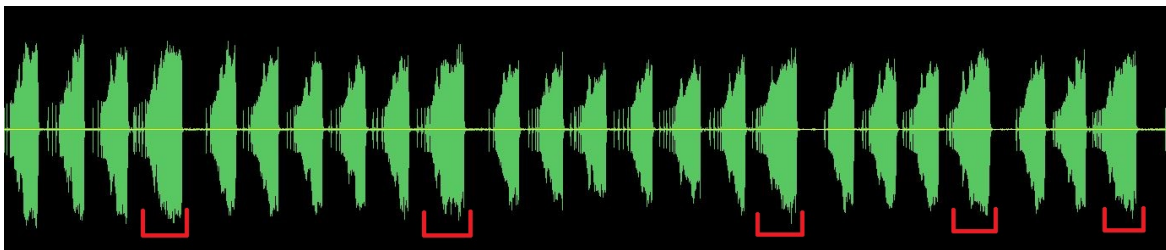


Figura 9.14: Cant d'*Hilaphura varipes* amb iteracions més llargues i/o potents que la resta quan precedeixen un silenci més llarg

9.4 Càlcul de semblances

Un cop s'ha calculat tots els paràmetres considerats útils per a la identificació, el següent pas és utilitzar-ne els valors per determinar el nivell de semblança del cant analitzat amb els de les 14 espècies amb presència coneguda o potencial a Catalunya. Amb aquest objectiu, s'especifica una sèrie de condicions que un cant ha de complir per poder pertànyer a cadascuna d'aquestes espècies, amb una restrictivitat major o menor en funció de la mesura en què cada característica és definitiva de l'espècie. S'il·lustrarà aquest procés mitjançant dos exemples d'espècies amb cants antitètics entre ells, amb la qual cosa es podrà mostrar l'ús que es fa de la pràctica totalitat dels paràmetres descrits a l'apartat anterior.

9.4.1 *Cicada orni*

Els criteris que se segueix per determinar el nivell de semblança amb aquesta espècie són els que apareixen a la Taula 9.8.

Criteri	Importància base	0%	100%	100%	0%
Durada mitjana cant	0.75	25	50	170	400
Cants curts	1	0	0.75		-
Durada mitjana silenci	0.75	25	50	170	400
Cants curts amb cant llarg previ	1	0.4	0.1	0	-
Freqüència mitjana	1	3000	4500	6500	8000
Grups de polsos	0.25	1	0		-
Batecs d'ales	0.2	1	0		-
Proporció de silenci	0.25	0	0.3	0.7	1

Taula 9.8: Criteris d'identificació d'una *Cicada orni*

Respecte a la segona columna de la Taula 9.8, cal aclarir que la importància base indica el grau de restricció aplicat a cada paràmetre: s'ha de ser més restrictiu amb les característiques més definitòries de l'espècie que amb les que no ho són tant (a causa d'una major variabilitat, que no sempre es compleixin, etcètera). Així, si la durada dels silencis entre les diferents iteracions de cant (importància base = 0.75) no entra dins del rang indicat, encara es pot obtenir una semblança d'un 25% amb una *Cicada orni* si la resta de patrons es compleixen del tot. Si, en canvi, el que no encaixa és la durada dels cants (importància base = 1.0) i aquesta queda fora del rang 25-400 ms, ja se sap segur que no s'obtindrà cap nivell de coincidència amb aquesta espècie.

Quant a les quatre últimes columnes, aquestes indiquen el nivell de validesa de cada valor per a tots els paràmetres. Per exemple, sempre que la durada mitjana del cant es trobi entre 50 i 170 ms, aquest valor serà vàlid al 100% per a una *Cicada orni*. Altrament, en cas que els cants durin 25 ms o menys o bé 400 ms o més, la coincidència amb els cants d'aquesta espècie serà del 0%. Si, per contra, la durada mitjana té un valor entre 170 i 400 ms, per exemple, el nivell de coincidència no serà ni del 0% ni del 100%, sinó un entremig. Per a aquests casos, en què el valor trobat entra dins del rang de possibles però no dins del d'habituals, no es calcula el coeficient de semblança de forma lineal a partir de la distància fins al valor habitual més proper, sinó que es fa mitjançant una funció irracional, amb la qual cosa s'obté uns coeficients més propers al que vindria a ser una distribució normal.

Finalment, es descriurà els vuit paràmetres tinguts en compte:

- Durada mitjana del cant: Indica, en milisegons, la mitjana simple de les durades de totes les iteracions de cant que s'ha trobat a la gravació.
- Cants curts: Es tracta del nivell de confiança que es dona al fet que els cants siguin de tipus curt i repetitiu en lloc de ser llargs i continus. Els cants de la *Cicada orni* sempre segueixen el primer model, de manera que si es detecta que el cant pertany al segon ja es pot descartar aquesta espècie. A primera vista pot semblar que aquest paràmetre és binari (o són cants iteratius o són cants continus), però poder afirmar quin dels dos models segueix el cant no sempre és trivial. Per posar-ne un exemple, la gravació de la Figura 9.15 és de *Cicada orni*, però a part de l'individu principal també conté els cants d'altres mascles que sonen de fons, fet que pot donar la impressió que el cant és llarg i sense pauses.



Figura 9.15: Cant de *Cicada orni* amb uns quants exemplars més cantant de fons

Un valor de 0 en aquest paràmetre significa que es té la certesa que els cants són continus, mentre que un valor de 1 implica exactament el contrari.

- Durada mitjana del silenci: Indica, en milisegons, la mitjana simple de les durades de tots els silencis entre iteracions de cant que s'ha trobat a la gravació.
- Cants curts amb cant llarg previ: Aquest paràmetre informa de la mesura en què l'aplicació confia que la tipologia de cant sigui la que es pot observar a les imatges **c** o **d** de la Figura 9.4, és a dir, amb les iteracions de cant enllaçades de dues en dues i amb la primera iteració de cada parella més llarga que la segona. Com en el cas del segon paràmetre, aquí un valor de 0 indica que és segur que el cant no segueix aquest model, mentre que un 1 indica just el contrari. De les espècies amb les quals s'ha treballat, només la *Cicadetta brevipedunculata*, i de vegades també la *Tettigettula pygmaea*, presenten aquesta característica, de manera que un valor alt per a aquest paràmetre és impròpi d'una *Cicada orni* i permet descartar-la directament.

És possible que aquest paràmetre doni, igual que el segon, la sensació de ser binari, però, com en tots els casos, pot haver-hi gravacions que generin dubtes. Quan un mascle de *Cicada orni* ja ha trobat una femella i intenta festejar-la o bé es posa a rivalitzar amb un altre mascle que s'ha acostat massa, pot allargar alguns cants més del normal i donar la sensació que segueix aquest patró, com es pot veure a la Figura 9.16. El normal, però, és que, si es dona el cas, succeeixi només en un petit percentatge de les iteracions, de manera que el coeficient obtingut en aquests casos, malgrat no ser 0, sí que seria més aviat reduït.

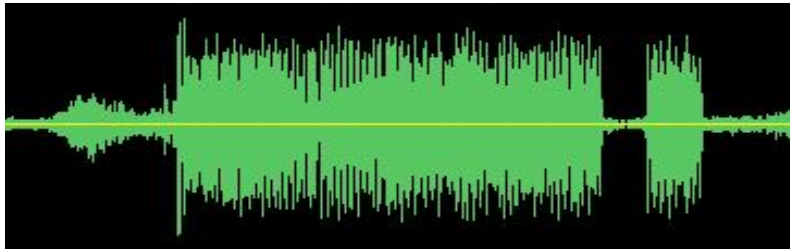


Figura 9.16: Fragment d'un cant de còpula de *Cicada orni*

- Freqüència mitjana: És, simplement, una mitjana ponderada de les freqüències del cant a partir de l'amplitud amb què es manifesta cada una. Encara que les freqüències d'emissió d'una espècie siguin altament variables, com ja s'ha explicat anteriorment, les de la *Cicada orni* són especialment baixes en comparació amb quasi totes les altres 13 espècies que s'inclou al treball, de manera que aquest és un factor de gran utilitat per a la seva identificació.
- Grups de polsos: Indica el nivell de confiança que es dona al fet que els cants estiguin compostos per grups de polsos definits i d'una durada fixa. Aquest és un tret propi de cants continus i que no es dona en aquesta espècie ja que, habitualment, cada grup de polsos emès per una *Cicada orni* constitueix per si mateix una iteració de cant.

Encara que aquest paràmetre pugui semblar del tot innecessari, es té en compte perquè hi ha algunes espècies de cant continu que, pel fet de veure's amenaçades, per exemple, poden emetre el seu cant de forma trencada. Si es dona el cas i, a més, les durades dels fragments del cant continu coincideixen amb les d'una *Cicada orni* i la freqüència de mostreig utilitzada

durant la gravació és insuficient per poder determinar la freqüència real del cant, aquest factor pot arribar a ser determinant en el resultat final d'identificació.

Per exemple, el cant de la Figura 9.17 correspon a una *Tibicina corsica fairmairei* i, com es pot comprovar, no és continu sinó que està trencat. En aquest cas es veu de seguida que els grups de polsos estan perfectament definits i que tenen una durada uniforme, fet que donarà en un valor alt per a aquest paràmetre i, en conseqüència, encaminarà l'aplicació a determinar que no es tracta d'una *Cicada orni*.

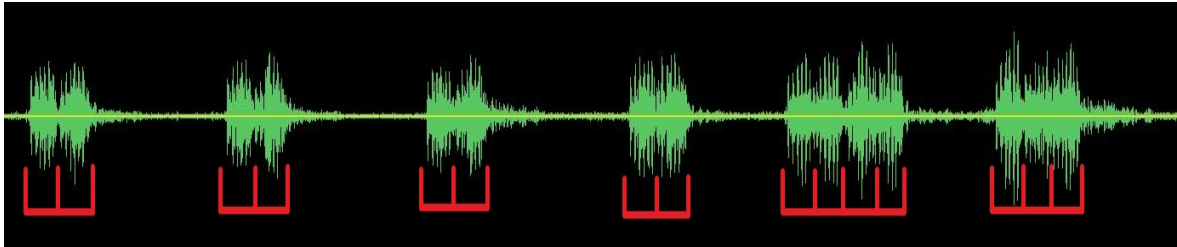


Figura 9.17: Ampliació d'un cant trencat de *Tibicina corsica fairmairei*

- Batecs d'ales: És un indicador del nombre de batecs d'ales que tenen lloc durant la gravació. La presència d'aquests batecs en un cant de *Cicada orni* seria totalment atípica, mentre que en espècies com la *Tettigettula pygmaea*, que pot emetre cants de la mateixa durada que els de la *Cicada orni*, és del tot habitual. El valor d'aquest paràmetre surt de la quantitat, logarítmica, de batecs d'ales per cada unitat de temps.
- Proporció de silenci: Com es pot deduir del seu nom, aquest paràmetre indica quina proporció de silenci hi ha a la gravació des de l'inici del primer cant fins al final de l'últim. D'aquesta manera, si la durada de les iteracions d'un cant d'una espècie i la dels silencis entre aquestes són similars, com és el cas en un cant de *Cicada orni*, en un enregistrament d'aquesta espècie amb un nombre suficient d'iteracions de cant s'esperarà trobar una proporció de silenci propera al 50%.

9.4.2 *Tibicina garricola*

Els criteris que se segueix per determinar el nivell de semblança amb aquesta espècie són els que mostra la Taula 9.9.

Criteri	Importància base	0%	100%	100%	0%
Cants llargs	0.75	0	1		-
Cants curts amb cant llarg previ	1	0.4	0.1	0	-

Pendent inici cant	0.2	0.8	0.95	1.3	1.6
Pendent final cant	0.3	0.8	0.95	1.2	1.4
Potència irregular	0.3	0.5	0		-
Freqüència mitjana	0.8	6250	7750	9250	10750
Pic 1 freqüència	0.15	6000	7000	8750	9750
Pic 2 freqüència	0.15	6750	7750	9500	10500
Pic 3 freqüència	0.15	7750	8750	10250	11250
NGP/s	1	63	66	71	74
Definició GGPP	0.1	0.8	0.35	0	-
Batecs d'ales	0.2	2	0		-

Taula 9.9: Criteris d'identificació d'una *Tibicina garricola*

A continuació es descriurà breument aquests 12 paràmetres per aclarir els dubtes que puguin suscitar:

- Cants llargs: Es tracta del nivell de confiança que es dóna al fet que els cants siguin de tipus llarg i continu en lloc de ser curts i repetitius. Aquest valor és exactament 1 - el valor del paràmetre “cants curts” que s'utilitza a la identificació de la *Cicada orni*. Com en aquest altre paràmetre, es fa servir un real en lloc d'un booleà perquè sovint la pertinença a un o altre model no és del tot evident. La restricció en aquest cas no és del 100% perquè, encara que sigui totalment atípic, en determinades circumstàncies pot ser que les *Tibicina garricola* emetin el cant continu de forma trencada i aquest aparenti pertànyer al model de cants curts i repetitius.
- Cants curts amb cant llarg previ: Equival al paràmetre amb el mateix nom que s'ha descrit en el cas de la *Cicada orni*. Es tracta d'un patró que les *Tibicina garricola* no compleixen mai i que, per tant, en cas de donar-se, permet descartar aquesta espècie, entre moltes altres.
- Pendent inici cant: Representa el pendent de les amplituds de la primera part del cant. Un pendent de 1.0 significa que les amplituds es mantenen constants des de l'inici fins al final del tram analitzat, mentre que un pendent de 1.2 voldrà dir que hi ha un increment de la potència del cant en aquest segment i un pendent de 0.9, per contra, n'indicarà una lleugera disminució. Les *Tibicina garricola* tenen cants de potència molt constant, o sigui que uns pendents allunyats d'1.0, ja sigui augmentant o disminuint les amplituds, fan minvar el nivell de semblança amb aquesta espècie.
- Pendent final cant: Representa el pendent de les amplituds de l'última part del cant, amb la mateixa escala que el paràmetre l'anterior. Com es pot comprovar a la imatge **d** de la Figura 9.13, les *Tibicina corsica fairmairei* poden presentar increments importants d'amplitud al final del seu cant, igual que les *Tibicina quadrisignata*, o sigui que aquest paràmetre ajudaria a decrementar el nivell de semblança amb la *Tibicina garricola* en casos com aquests.

- Potència irregular: Indica la irregularitat de les amplituds del cant. Com més variacions de potència hi hagi al llarg del cant, més alt serà el valor d'aquest paràmetre. Com ja s'ha explicat, els cants de *Tibicina garricola* solen ser molt constants, de manera que un cant amb canvis importants d'amplitud a mesura que avança és molt més propi d'altres espècies.
- Freqüència mitjana: És equivalent al paràmetre amb aquest mateix nom que ja s'ha explicat en el cas de la *Cicada orni*.
- Pic 1 freqüència: Indica la freqüència en què apareix el primer dels tres pics de freqüència que, de vegades, es manifesten de manera distinta en cants de cigales del gènere *Tibicina*. A la imatge **a** de la Figura 9.10 es pot observar un cas en què aquests tres pics destaquen clarament. Tanmateix, si aquests pics no apareixen de manera destacada, com en el cas de la imatge **b** de la mateixa figura, aquest paràmetre no és tingut en compte. La restrictivitat que s'aplica a aquest paràmetre és, òbviament, considerablement menor que la de la freqüència mitjana, atesa la seva major variabilitat.
- Pic 2 freqüència: Equival al paràmetre anterior aplicat al segon pic de freqüència.
- Pic 3 freqüència: Equival al paràmetre anterior aplicat al tercer pic de freqüència.
- NGP/s: Consisteix en el nombre de grups de polsos que tenen lloc, de mitjana, cada segon del cant analitzat. Aquest és el factor més fiable a l'hora de diferenciar espècies del gènere *Tibicina* entre elles a partir del seu cant, gràcies, sobretot, a la seva poca variabilitat, de manera que el grau de restricció que se li aplica és el màxim. Es pot afirmar amb total seguretat que un cant no pertanyerà a una *Tibicina garricola* si el NGP/s que emet no entra dins del seu rang.
- Definició GGPP: Informa del grau de definició dels grups de polsos; com més marcats estiguin aquests, major serà el valor del paràmetre. Aquest coeficient pot minvar a causa d'una mala qualitat de l'àudio o d'altres factors com ara la presència d'altres cigales cantant de fons, però en aquests casos la definició dels grups de polsos només baixaria, mai augmentaria. Consegüentment, aquestes possibles distorsions no poden disminuir el coeficient de semblança amb la *Tibicina garricola*, perquè només s'acota els valors d'aquest paràmetre per sobre, amb l'objectiu de descartar aquesta espècie en cants on els GGPP apareguin de manera 100% inconcussa i molt més marcats, com passa sovint als cants de *Tibicina tomentosa*.
- Batecs d'ales: Funciona de la mateixa manera i té el mateix objectiu que el paràmetre amb aquest mateix nom que ja s'ha explicat en el cas de la *Cicada orni*.

En la majoria d'ocasions, sempre que la qualitat de la gravació ho permeti, n'hi ha prou amb aquest sistema per saber a quina espècie pertany el cant enregistrat. Tot i això, algunes vegades pot haver-hi un cert nivell de coincidència amb més d'una espècie i, encara que sempre n'hi hagi una amb un coeficient de semblança superior al de les altres, aquestes no poden ser descartades. El que es fa en aquests casos, doncs, és comprovar, a partir dels valors dels paràmetres ja analitzats, en quina mesura el cant encaixa amb cada una de les espècies no descartables, no de forma absoluta sinó comparativament entre elles. Els resultats d'aquestes comprovacions, aplicats als coeficients obtinguts amb el sistema anterior, acaben d'afinar la identificació i solen deixar més perfilada l'espècie de l'individu gravat.

Com en el cas del sistema principal d'identificació, es mostrarà els passos que se segueix a partir d'un exemple, aquest cop per precisar millor els nivells de semblança en cas de dubte entre dues espècies amb cants que presenten unes certa similitud entre ells: la *Cicadetta cerdaniensis* i la *Tettigetta argentata*. De vegades, especialment si la freqüència de mostreig emprada durant la gravació no és suficient per poder comprovar l'espectre freqüencial real del cant o bé el filtre de freqüències del propi enregistrator no ho permet, pot ser que l'aplicació trobi un coeficient de semblança inomissible per a cadascuna d'aquestes dues espècies, de manera que, per a cada paràmetre en què hi hagi diferències substancials entre elles, es comprova amb quins valors s'ajusten més els que s'ha obtingut amb l'anàlisi del cant. L'Algorisme 9.2 mostra les diferències aplicades a partir dels valors de durada del cant.

Algorisme 9.2: Diferenciació entre les durades dels cants de *Cicadetta cerdaniensis* i *Tettigetta argentata*

```
//semblCC = nivell de semblança entre el cant analitzat i el d'una Cicadetta cerdaniensis
//semblTA = nivell de semblança entre el cant analitzat i el d'una Tettigetta
    argentata
double coefDuradaMitjanaCant = ((40 - duradaMitjanaCant) / 40) * coefCC1 *
    nivellConfiancaDuradaCants;
if (coefDuradaMitjanaCant > 0) semblCC /= 1 + coefDuradaMitjanaCant;
else {
    coefDuradaMitjanaCant = ((duradaMitjanaCant - 50) / 50) * coefTA1 *
        nivellConfiancaDuradaCants;
    if (coefDuradaMitjanaCant > 0) semblTA /= 1 + coefDuradaMitjanaCant;
}
```

Encara que, de les 14 espècies que inclou l'aplicació, aquestes dues siguin, amb diferència, les que fan els cants més curts de totes, les *Cicadetta cerdaniensis* solen emetre cants d'una durada superior a la dels de les *Tettigetta argentata*. Així, una durada inferior als 40 milisegons seria més pròpia d'aquesta última, mentre que una durada superior als 50 milisegons ho seria més de la primera. Òbviament, com més diferència hi hagi respecte aquests llindars, més indicatiu serà a favor d'una de les dues espècies.

Les variables **coefCC1** i **coefTA1** contenen un factor multiplicador que s'aplicarà en contra d'una de les dues espècies. El seu valor depèn, respectivament, de la mesura en què una durada del cant inferior als 40 ms és indicativa d'una *Tettigetta argentata* i de la mesura en què una durada superior als 50 ms ho és d'una *Cicadetta cerdaniensis*. El coeficient **nivellConfiancaDuradaCants**, al seu torn, té un valor entre 0 i 1 i informa de la confiança que es pot tenir en la durada dels cants trobada durant la fase d'anàlisi. Per avaluar aquest nivell de confiança es té en compte tant la desviació estàndard entre les durades dels diferents cants analitzats com el nombre de cants trobat. Així, en un fitxer on s'hagi trobat 5 cants amb durades de 80, 30, 60, 20 i 60 ms, respectivament, aquest valor serà inferior que en un fitxer on s'hagi trobat 10 cants amb durades de 51, 46, 47, 54, 51, 44, 50, 51, 53 i 50 ms, gràcies al major nombre de mostres d'aquest darrer i a la menor desviació estàndard entre els diferents valors de durada dels cants que conté. S'aplica aquest factor multiplicador perquè així, en cas que el nombre de cants trobats sigui reduït o bé aquests tinguin durades força variables, la importància de la durada del cant en la diferenciació

entre aquestes dues espècies serà menor en el mateix grau en què ho sigui la confiança que es té en el valor obtingut per a aquest paràmetre.

A mode de comentari general, cal aclarir també que els factors pels quals s'acaba dividint els nivells de semblança d'una o altra espècie solen moure's entre 1.0 i 1.15, a no ser que la diferència respecte als llindars establerts sigui extraordinària.

Algorisme 9.3: Diferenciació entre les durades dels silencis entre cants de *Cicadetta cerdaniensis* i *Tettigetta argantata*

```
double coefDuradaMitjanaSilenci = ((duradaMitjanaSilenci - 140) / 140) * coef2 *
    nivellConfiancaDuradaSilencis;
if (coefDuradaMitjanaSilenci > 0) semblTA /= 1 + coefDuradaMitjanaSilenci;
else semblCC /= 1 - coefDuradaMitjanaSilenci;
```

Com es pot comprovar, el funcionament del fragment de codi de l'Algorisme 9.3 és equivalent al del fragment anterior, aplicat, en aquest cas, a la durada dels silencis en lloc de la dels cants. Una durada mitjana dels silencis entre iteracions de cant inferior als 140 ms és més pròpia d'una *Tettigetta argantata*, mentre que una durada superior a aquest llindar és més típica d'una *Cicadetta cerdaniensis*.

Algorisme 9.4: Diferenciació entre les freqüències d'emissió dels cants de *Cicadetta cerdaniensis* i *Tettigetta argantata*

```
if (frequenciaMostreig >= freqMinimaAvaluacioCC) {
    double coefMitjFreq = ((frequenciaMitjana - 13250) / 13250) * coef3;
    if (coefMitjFreq > 0) semblTA /= 1 + coefMitjFreq;
    else semblCC /= 1 - coefMitjFreq;
}
```

Si la freqüència de mostreig utilitzada és suficient per poder agafar una part important de l'espectre freqüencial del cant de la *Cicadetta cerdaniensis* i l'enregistrador no aplica cap filtre passabaix que limiti les freqüències, es pot estimar amb un mínim de garanties la freqüència mitjana del cant per a aquesta espècie. En aquests casos, com es pot veure a l'Algorisme 9.4, s'actualitza els coeficients de semblança d'acord amb l'encaix d'aquest valor amb el que s'espera de cada una de les dues espècies. Una freqüència mitjana del cant inferior als 13250 Hz encaixa més amb la *Tettigetta argantata* que amb la *Cicadetta cerdaniensis*, i viceversa per a una mitjana de freqüència superior a aquest llindar.

Algorisme 9.5: Diferenciació entre les proporcions de silenci en cants de *Cicadetta cerdaniensis* i *Tettigettalna argentata*

```
double coefPropSil = (proporcioSilenci - 0.9) * coef4;
if (coefPropSil > 0) semblTA /= 1 + coefPropSil;
else {
    coefPropSil = (0.6 - proporcioSilenci) * coef4;
    if (coefPropSil > 0) semblCC /= 1 + coefPropSil;
}
```

Les *Tettigettalna argentata* solen emetre les iteracions de cant molt seguides entre elles, mentre que les *Cicadetta cerdaniensis* ho fan sovint de forma més espaiada. És per això que una proporció de més de 9 a 1 entre la durada total de les iteracions del cant i la dels silencis entre aquestes, a favor d'aquest últim valor, és més indicatiu d'una *Cicadetta cerdaniensis*, mentre que una proporció de menys d'1.5 a 1 en el mateix sentit és més pròpia d'una *Tettigettalna argentata*. El fragment de codi corresponent a l'Algorisme 9.5 usa aquest criteri per afinar les semblances amb cada una de les dues espècies.

Un cop aplicades aquestes operacions sobre els coeficients de semblança obtinguts al sistema d'identificació, si tots dos valors han disminuït, es retorna el que ho ha fet en menys mesura al nivell de semblança inicial i s'augmenta també l'altre per mantenir la proporcionalitat entre tots dos. Així, si al principi es tenia una semblança d'un 90% amb una *Tettigettalna argentata* i una d'un 25% amb una *Cicadetta cerdaniensis* i, després d'aplicar-hi aquests canvis, queden uns coeficients d'un 85% i d'un 10%, respectivament, es retorna el primer al 90% inicial, ja que és el que menys ha minvat, i es puja el segon al 10.59% per mantenir la proporcionalitat entre tots dos. L'objectiu d'aquesta operació és assegurar que, si hi ha dues espècies candidates, el coeficient de semblança amb l'espècie amb la qual el cant analitzat encaixa més de les dues no minvi respecte al que s'ha trobat durant la fase d'identificació principal, la qual cosa no tindria sentit.

Encara que només s'hagi mostrat una comparació a tall d'exemple, aquestes estan implementades per a qualsevol parella d'espècies els cants de les quals presenten unes certes similituds entre ells que fan que ambdues puguin tenir nivells de semblança positius per a un mateix fitxer.

9.5 Resultats

9.5.1 Identificació automàtica de cigales

Un cop acabada la implementació de tota la part d'eliminació de soroll, anàlisi i processament del fitxer de so, determinació del cant i extracció de paràmetres d'aquest, així com el sistema de regles que determina, a partir d'aquests paràmetres, quina és l'espècie enregistrada, els resultats d'identificació que s'ha obtingut amb els 468 enregistraments dels quals s'ha disposat són els mostrats a la Taula 9.10. En el cas de la *Tibicina corsica* s'ha analitzat cants tant de la subespècie *fairmairei* com de la subespècie *corsica*, atès que no presenten diferències perceptibles entre ells.

Qualitat de l'enregistrament	Espècie en-registrada	Resultat obtingut (% semblança)	Altres possibilitats ⁹
Correcta	Cic orn	Cic orn: 99.74%	Tet pyg: 15.53%
Correcta	Cic orn	Cic orn: 85.98%, Cic cer: 15.65%	
<i>Cic orn cantant de fons</i>	Cic orn	Cic orn: 99.19%, Hil var: 25.67%	
<i>Cic orn cantant de fons</i>	Cic orn	Cic orn: 83.38%, Hil var: 63.4%	Tet pyg: 79.79%
Lluny	Cic orn	Cic orn: 20.56%	
Lluny	Cic orn	Cic orn: 98.79%	Tet pyg: 62.28%
Molt lluny	Cic orn	No s'ha trobat coincidències	
Lluny	Cic orn	Cic orn: 36.83%, Cic bar lus: 16.7%	Tet pyg: 29.45%
Lluny	Cic orn	Cic orn: 33.35%	
Molt lluny	Cic orn	No s'ha trobat coincidències	
Molt lluny	Cic orn	No s'ha trobat coincidències	
Lluny	Cic orn	Cic orn: 33.07%	Tet pyg: 17.36%
Molt lluny	Cic orn	No s'ha trobat coincidències	Tet pyg: 17.5%
Lluny	Cic orn	Cic orn: 88.56%	Tet pyg: 55.29%
Correcta	Cic orn	Cic orn: 99.2%	
Correcta	Cic orn	Cic orn: 99.06%	Tet pyg: 15.31%
Correcta	Cic orn	Cic orn: 99.22%	Tet pyg: 15.31%
Correcta	Cic orn	Cic orn: 100.0%	Tet pyg: 16.68%
Correcta	Cic orn	Cic orn: 99.55%	Tet pyg: 15.4%
Correcta	Cic orn	Cic orn: 97.52%	Cic atr: 50.65%, Tet pyg: 34.65%, Hil var: 16.53%
Correcta	Cic orn	Cic orn: 99.09%	Tet pyg: 19.49%
Correcta	Cic orn	Cic orn: 59.04%	
Correcta	Cic orn	Cic orn: 99.03%	Tet pyg: 15.97%
Lluny	Cic orn	Cic orn: 99.22%	Tet pyg: 33.18%
Correcta	Cic orn	Cic orn: 99.73%	
Correcta	Cic orn	Cic orn: 99.71%	Tet pyg: 26.19%
Lluny	Cic orn	Cic orn: 95.68%	
Lluny	Cic orn	Cic orn: 74.87%	
Correcta	Cic orn	Cic orn: 99.77%	
Correcta	Cic orn	Cic orn: 98.62%	Cic cer: 56.04%, Tet arg: 24.16%
Correcta	Cic orn	Cic orn: 99.16%	Cic cer: 48.67%, Cic atr: 19.58%

⁹A causa de l'exigüa freqüència de mostreig utilitzada a la gravació o de la presència d'un filtre de freqüències passabaix aplicat pel propi enregistrator, no s'ha pogut descartar les espècies que apareixen en aquesta columna. El nivell de semblança mostrat no té en compte l'espectre freqüencial del cant perquè aquesta condició no ha permès comprovar-lo.

Correcta	Cic orn	Cic orn: 97.58%	Cic cer: 57.63%, Tet arg: 33.16%
Correcta	Cic orn	Cic orn: 99.36%	Tet pyg: 25.96%
Correcta	Cic orn	Cic orn: 99.78%	Cic cer: 18.26%, Tet pyg: 15.93%
Correcta	Cic orn	Cic orn: 99.61%	Tet pyg: 36.43%, Cic atr: 25.03%
Correcta	Cic orn	Cic orn: 99.7%	Cic atr: 21.1%, Tet pyg: 15.27%
Correcta	Cic orn	Cic orn: 95.99%	Cic cer: 71.04%, Tet arg: 22.38%
Correcta	Cic orn	Cic orn: 94.04%	Tet pyg: 87.85%, Cic atr: 42.66%, Hil var: 34.29%
Correcta	Cic orn	Cic orn: 99.58%	Tet pyg: 67.23%, Hil var: 53.68%, Cic atr: 20.7%
Correcta	Cic orn	Cic orn: 99.53%	Tet pyg: 35.53%, Cic atr: 23.82%, Hil var: 23.08%
Correcta	Cic orn	Cic orn: 86.03%	Hil var: 89.19%, Tet pyg: 77.76%, Cic atr: 21.97%
Correcta	Cic orn	Cic orn: 99.94%	Tet pyg: 25.67%, Cic atr: 23.72%
Correcta	Cic orn	Cic orn: 96.78%	Tet pyg: 24.04%, Cic atr: 21.36%
Correcta	Cic orn	Cic orn: 99.59%	Cic atr: 27.39%, Tet pyg: 24.49%
Correcta	Cic orn	Cic orn: 99.27%	Tet pyg: 65.84%, Cic atr: 27.11%, Hil var: 23.09%
Correcta	Cic orn	Cic orn: 93.84%	
Correcta	Cic orn	Cic orn: 99.31%	
Correcta	Cic orn	Cic orn: 99.89%	
Correcta	Cic orn	Cic orn: 78.11%	Tet pyg: 90.89%, Cic atr: 65.23%, Hil var: 17.45%
Correcta	Cic orn	Cic orn: 85.92%	Tet arg: 64.98%, Cic cer: 27.72%
Correcta	Cic orn	Cic orn: 98.89%	Tet pyg: 90.68%, Cic atr: 62.94%, Hil var: 17.62%
Correcta	Cic orn	Cic orn: 95.23%	Tib hae: 34.42%
Correcta	Cic orn	Cic orn: 73.29%	Tet pyg: 80.1%, Hil var: 44.89%, Cic atr: 24.26%
Correcta	Cic orn	Cic orn: 99.7%	Cic atr: 21.73%, Tet pyg: 21.53%
Molt soroll	Cic orn	Cic orn: 83.68%, Cic cer: 15.34%	
Molt soroll	Cic orn	Cic orn: 65.94%, Cic cer: 15.77%	
Molt soroll	Cic orn	Cic orn: 86.63%	
Molt soroll	Cic orn	Cic orn: 99.79%	
Molt soroll	Cic orn	Cic orn: 99.19%	Tet pyg: 15.81%
Molt soroll	Cic orn	Cic orn: 28.88%	
Molt soroll	Cic orn	Cic orn: 84.8%	
Molt soroll	Cic orn	Cic orn: 72.55%, Cic cer: 15.54%	
Correcta	Cic orn	Cic orn: 99.72%	
Correcta	Cic orn	Cic orn: 99.1%	Tet arg: 16.66%

Correcta	Cic orn	Cic orn: 99.62%	
Individus de diferents espècies	Cic orn + Tet arg	Cic orn: 88.11%	Tet pyg: 51.36%
Individus de diferents espècies	Cic orn + Tet arg	Cic orn: 99.87%	Tet pyg: 67.32%
<i>Cic orn</i> cantant de fons	Cic orn	Cic orn: 85.39%	
Correcta	Cic orn	Cic orn: 93.49%	
Diversos individus cantant alhora	Cic orn	Cic bar lus: 64.05%	
<i>Cic orn</i> cantant de fons	Cic orn	Cic orn: 99.25%	
Correcta	Cic orn	Cic orn: 99.21%	Tet pyg: 15.46%
Correcta	Cic orn	Cic orn: 99.03%	Tet pyg: 39.79%
Correcta	Cic orn	Cic orn: 91.03%	
Individus de diferents espècies	Cic orn + Cic atr	No s'ha trobat coincidències	
Lluny	Cic orn	Cic orn: 83.62%	
Correcta	Cic orn	Cic orn: 96.66%	
Individus de diferents espècies	Cic orn + Tet arg	Cic atr: 24.24%	
Correcta	Cic orn	Cic orn: 99.68%	
Correcta	Cic orn	Cic orn: 99.14%	Tet pyg: 33.85%
Molt soroll	Cic orn	Cic orn: 99.62%	
Molt soroll	Cic orn	Cic orn: 87.87%	
Molt soroll	Cic orn	Cic orn: 79.91%	
<i>Cic orn</i> cantant de fons	Cic orn	Cic orn: 15.29%	
Molt soroll	Cic orn	Cic orn: 96.09%	Tet pyg: 27.55%
Molt soroll	Cic orn	Cic orn: 99.51%	Tet pyg: 23.83%
Molt soroll	Cic orn	Cic orn: 99.58%	
Molt soroll	Cic orn	Cic orn: 78.61%, <i>Hilaphura varipes</i> : 22.66%	

Correcta	Cic bar lus	Cic bar lus: 34.98%, Cic orn: 22.23%	
Correcta	Cic bar lus	Cic bar lus: 77.84%, Lyr ple: 73.26%	
Massa a prop	Cic bar lus	No s'ha trobat coincidències	
Correcta	Cic bar lus	Cic bar lus: 99.98%, Lyr ple: 66.46%	
Correcta	Cic bar lus	Cic bar lus: 78.89%, Tib hae: 56.51%, Lyr ple: 55.11%	
Correcta	Cic bar lus	Cic bar lus: 91.13%, Lyr ple: 67.91%	
Correcta	Cic bar lus	Cic bar lus: 77.21%, Lyr ple: 73.24%	

Correcta	Cic bar lus	Cic bar lus: 76.87%, Lyr ple: 73.17%	
Correcta	Cic bar lus	Cic bar lus: 76.87%, Lyr ple: 66.42%	
Correcta	Cic bar lus	Cic bar lus: 76.67%, Lyr ple: 73.24%	
Correcta	Cic bar lus	Cic bar lus: 92.25%, Lyr ple: 73.17%	
Correcta	Cic bar lus	Cic bar lus: 92.45%, Lyr ple: 72.04%	
Correcta	Cic bar lus	Cic bar lus: 91.43%, Lyr ple: 74.02%	
Correcta	Cic bar lus	Cic bar lus: 90.32%, Lyr ple: 67.85%	
Correcta	Cic bar lus	Cic bar lus: 76.19%, Lyr ple: 73.13%	
Correcta	Cic bar lus	Cic bar lus: 92.25%, Lyr ple: 73.17%	
Molt soroll	Cic bar lus	Cic bar lus: 99.94%	
Molt soroll	Cic bar lus	Cic atr: 77.39%	
Molt soroll	Cic bar lus	Cic bar lus: 99.38%, Lyr ple: 73.21%	
Molt soroll	Cic bar lus	Cic bar lus: 92.17%, Lyr ple: 73.24%	
Molt soroll	Cic bar lus	Cic bar lus: 47.41%	
Molt soroll	Cic bar lus	Cic bar lus: 59.52%	
Molt soroll	Cic bar lus	Cic bar lus: 51.31%, Lyr ple: 47.22%	
Molt soroll	Cic bar lus	Cic bar lus: 99.61%	
Correcta	Cic bar lus	Tib gar: 28.27%, Cic bar lus: 22.59%, Cic orn: 20.85%	
Correcta	Cic bar lus	Tib gar: 77.58%	
Correcta	Cic bar lus	Cic orn: 25.53%	Tet pyg: 71.29%
Molt soroll	Cic bar lus	Cic bar lus: 65.73%, Cic orn: 19.00%	
Molt soroll	Cic bar lus	Cic bar lus: 97.66%, Lyr ple: 59.72%	
Molt soroll	Cic bar lus	Cic bar lus: 92.67%, Lyr ple: 73.17%	
Correcta	Cic bar lus	Cic bar lus: 41.2%	
Correcta	Cic bar lus	Cic bar lus: 99.85%	
Correcta	Cic bar lus	Cic bar lus: 99.01%	
Massa a prop, potència exagerada	Cic bar lus	Cic cer: 72.73%, Cic orn: 48.6%, Lyr ple: 15.11%	
Correcta	Cic bar lus	Cic bar lus: 99.61%, Cic orn: 16.15%	
Correcta	Cic bar lus	Cic bar lus: 87.12%, Lyr ple: 53.66%	

Individus de diferents espècies	Cic atr + Cic orn	Cic atr: 99.89%	
Correcta	Cic atr	Cic atr: 99.9%	Tet pyg: 53.65%
Correcta	Cic atr	Cic atr: 99.05%	
Correcta	Cic atr	Cic atr: 99.92%	
Correcta	Cic atr	Cic atr: 99.58%	
Correcta	Cic atr	Cic atr: 99.01%	Tet pyg: 55.91%

Correcta	Cic atr	Cic atr: 99.22%	Tet pyg: 90.78%
Correcta	Cic atr	Cic atr: 90.88%, Cic cer: 15.17%	Tet pyg: 90.39%
Correcta	Cic atr	Cic atr: 99.2%	Tet pyg: 59.76%
Correcta	Cic atr	Cic atr: 92.51%	
Correcta	Cic atr	Cic atr: 99.17%, Tet pyg: 31.48%	
Correcta	Cic atr	Cic atr: 99.14%, Tet pyg: 27.96%	
Individus de diferents espècies	Cic atr + Lyr ple + Cic orn	Cic atr: 70.14%	
Molt soroll	Cic atr	Cic atr: 94.86%	
Molt soroll, individus de diferents espècies	Cic atr + Cic orn	Cic atr: 95.02%	
Correcta	Cic atr	Cic atr: 99.78%	Tet pyg: 71.19%
Correcta	Cic atr	Cic atr: 99.36%	
Correcta	Cic atr	Cic atr: 99.49%	Tet pyg: 53.57%
Correcta	Cic atr	Cic atr: 99.61%	Tet pyg: 55.35%
Molt soroll	Cic atr	Cic cer: 45.64%, Cic atr: 33.6%, Tet pyg: 16.15%	
Correcta	Cic atr	Cic atr: 90.1%	
Correcta	Cic atr	Cic atr: 91.67%	
Correcta	Cic atr	Cic atr: 99.1%	
Correcta	Cic atr	Cic atr: 70.26%	
Correcta	Cic atr	Cic atr: 70.17%	
Correcta	Cic atr	Cic atr: 99.68%	
Correcta	Cic atr	Cic atr: 99.63%	
Correcta	Cic atr	Cic atr: 71.47%	
Correcta	Cic atr	Cic atr: 91.04%	
Correcta	Cic atr	Cic atr: 80.88%	
Correcta	Cic atr	Cic atr: 99.65%	
Correcta	Cic atr	Cic atr: 99.34%	
Correcta	Cic atr	Cic atr: 97.66%	
Correcta	Cic atr	Cic atr: 98.47%	
Correcta	Cic atr	Cic atr: 68.12%	
Correcta	Cic atr	Cic atr: 99.32%	
Individus de diferents espècies	Cic atr + Cic orn	Cic atr: 99.54%	
Individus de diferents espècies	Cic atr + Cic orn	Cic atr: 99.36%	
Individus de diferents espècies	Cic atr + Cic orn	Cic atr: 99.97%	
Molt soroll	Cic atr	Cic atr: 99.49%	

Individus de diferents espècies	Cic atr + Lyr ple + Cic orn	Cic atr: 89.69%	
Individus de diferents espècies	Cic atr + Lyr ple + Cic orn	Cic atr: 95.03%	

Correcta	Cic bre	Cic bre: 99.23%	
Correcta	Cic bre	Cic bre: 95.25%	
Correcta	Cic bre	Cic bre: 89.9%	
Correcta	Cic bre	Cic bre: 88.34%	
Correcta	Cic bre	Cic bre: 99.15%	
Correcta; cant inhabitual, continu	Cic bre	No s'ha trobat coincidències	
Correcta; cant inhabitual, continu	Cic bre	No s'ha trobat coincidències	
Correcta; cant inhabitual, continu	Cic bre	Tet pyg: 42.6%, Cic cer: 36.09%	
Correcta	Cic bre	Cic bre: 99.76%	
Correcta	Cic bre	Cic bre: 97.61%	
Correcta	Cic bre	Cic bre: 95.4%	
Correcta	Cic bre	Cic bre: 99.3%	
Molt soroll	Cic bre	Cic bre: 98.27%	
Molt soroll	Cic bre	Cic bre: 99.37%	
Correcta	Cic bre	Cic bre: 97.35%	
Correcta	Cic bre	Cic bre: 93.81%	
Correcta	Cic bre	Cic bre: 99.71%	
Correcta	Cic bre	Cic bre: 99.74%	
Correcta	Cic bre	Cic bre: 97.48%	
Correcta	Cic bre	Cic bre: 98.07%	
Correcta	Cic bre	Cic bre: 98.29%	
Correcta	Cic bre	Cic bre: 86.73%	
Correcta	Cic bre	Cic bre: 99.82%	
Correcta	Cic bre	Cic bre: 86.65%	
Correcta	Cic bre	Cic bre: 99.21%	
Correcta	Cic bre	Cic bre: 99.16%	
Correcta	Cic bre	Cic bre: 89.69%	
Correcta	Cic bre	Cic bre: 99.56%	
Correcta	Cic bre	Cic bre: 95.5%	
Correcta	Cic bre	Cic bre: 95.27%	
Correcta	Cic bre	Cic bre: 99.54%	

Correcta	Cic bre	Cic bre: 99.65%	
Molt lluny	Cic bre	No s'ha trobat coincidències	
Correcta	Cic bre	Cic bre: 99.38%	
Correcta	Cic bre	Cic bre: 99.52%	
Correcta	Cic bre	Cic bre: 99.82%	
Correcta	Cic bre	Cic bre: 99.73%	
Correcta	Cic bre	Cic bre: 65.28%	
Correcta	Cic bre	Cic bre: 88.41%	
Correcta	Cic bre	Cic bre: 88.49%	
Correcta	Cic bre	Cic bre: 64.39%	
Correcta	Cic bre	Cic bre: 99.15%	
Correcta	Cic bre	Cic bre: 99.48%	
Correcta	Cic bre	Cic bre: 99.49%	
Correcta	Cic bre	Cic bre: 99.02%	
Correcta	Cic bre	Cic bre: 99.25%	
Correcta	Cic bre	Cic bre: 98.95%	
Correcta	Cic bre	Cic bre: 92.14%	
Correcta	Cic bre	Cic bre: 95.9%	
Correcta	Cic bre	No s'ha trobat coincidències	
Correcta	Cic bre	Cic bre: 99.99%	
Correcta	Cic bre	Cic bre: 99.52%	
Correcta	Cic bre	Cic bre: 99.44%	
Correcta	Cic bre	Cic bre: 99.61%	
Correcta	Cic bre	Cic bre: 28.99%	
Correcta	Cic bre	No s'ha trobat coincidències	
Correcta	Cic bre	Cic bre: 87.68%	

Correcta	Cic cer	Cic cer: 99.64%	
Correcta	Cic cer	Cic cer: 97.98%	
Correcta	Cic cer	Cic cer: 99.38%	
Correcta	Cic cer	Cic cer: 99.21%	
Correcta	Cic cer	Cic cer: 99.06%	
Correcta	Cic cer	Cic cer: 99.01%	Tet pyg: 24.95%
Correcta	Cic cer	Cic cer: 97.34%, Cic atr: 16.12%	Tet pyg: 43.52%
Correcta	Cic cer	Cic cer: 99.57%	
Correcta	Cic cer	Cic cer: 99.1%	
Correcta	Cic cer	Cic cer: 83.56%, Cic orn: 32.08%	Tet pyg: 40.55%
Correcta	Cic cer	Cic cer: 99.43%, Tet arg: 18.19%	

Correcta	Cic cer	Cic cer: 99.48%, Tet arg: 20.0%	
Correcta	Cic cer	Cic cer: 99.41%	
Correcta	Cic cer	Cic cer: 99.43%	
Correcta	Cic cer	Cic cer: 99.3%	
Correcta	Cic cer	Cic cer: 99.82%	
Correcta	Cic cer	Cic cer: 99.57%, Tet arg: 21.25%	
Correcta	Cic cer	Cic cer: 99.67%	

Correcta	Hil var	Hil var: 94.34%, Cic orn: 38.9%	Tet pyg: 90.51%
Correcta	Hil var	Hil var: 98.88%	
Lluny	Hil var	Hil var: 92.14%, Cic orn: 88.74%	
Molt soroll	Hil var	Hil var: 56.05%, Cic orn: 33.59%	

<i>Cic orn i Tet arg cantant de fons</i>	Lyr ple + Cic orn + Tet arg	Lyr ple: 74.85%, Cic bar lus: 53.16%	
<i>Cic orn cantant de fons</i>	Lyr ple + Cic orn	Lyr ple: 73.74%, Cic orn: 28.57%	Tet arg: 21.99%, Cic cer: 20.39%
Correcta	Lyr ple	Lyr ple: 99.45%, Tib tom: 54.54%	
Individus de diferents espècies	Lyr ple + Cic orn	Cic bar lus: 99.86%	
<i>Cic orn i Cic atr cantant de fons</i>	Lyr ple + Cic atr + Cic orn	Lyr ple: 51.22%	
<i>Cic orn i Cic atr cantant de fons</i>	Lyr ple + Cic atr + Cic orn	Lyr ple: 51.34%	
<i>Cic orn i Cic atr cantant de fons</i>	Lyr ple + Cic atr + Cic orn	Lyr ple: 54.74%	
Individus de diferents espècies	Lyr ple + Cic atr + Cic orn	No s'ha trobat coincidències	
<i>Cic orn i Cic atr cantant de fons</i>	Lyr ple + Cic atr + Cic orn	Lyr ple: 60.83%	
<i>Cic orn i Cic atr cantant de fons</i>	Lyr ple + Cic atr + Cic orn	Lyr ple: 44.79%	
<i>Cic orn i Cic atr cantant de fons</i>	Lyr ple + Cic atr + Cic orn	Lyr ple: 45.14%	
Individus de diferents espècies	Lyr ple + Tib hae	Cic bar lus: 96.42%, Tib hae: 77.94%	
Correcta	Lyr ple	Lyr ple: 82.36%	

Correcta	Lyr ple	Lyr ple: 99.77%, Cic bar lus: 23.33%	
Correcta	Lyr ple	Lyr ple: 99.61%, Cic orn: 15.61%	
Correcta	Lyr ple	Lyr ple: 99.53%	
Correcta	Lyr ple	Lyr ple: 95.39%	
Correcta	Lyr ple	Lyr ple: 99.59%, Cic orn: 25.3%	
Correcta	Lyr ple	Lyr ple: 93.32%	
Correcta	Lyr ple	Lyr ple: 99.8%, Cic orn: 20.06%	
Correcta	Lyr ple	Lyr ple: 99.07%	
Correcta	Lyr ple	Lyr ple: 90.7%	
Correcta	Lyr ple	Lyr ple: 99.03%, Cic bar lus: 24.22%	
Molt lluny	Lyr ple	Cic bar lus: 99.22%, Lyr ple: 71.51%	
Molt lluny	Lyr ple	Cic bar lus: 99.98%, Lyr ple: 71.63%	
Correcta	Lyr ple	Lyr ple: 99.62%, Cic orn: 20.89%	
Correcta	Lyr ple	Lyr ple: 99.73%	
Correcta	Lyr ple	Lyr ple: 99.66%, Cic orn: 25.3%	
Correcta	Lyr ple	Lyr ple: 40.85%	Tib tom: 99.63%, Cic bar lus: 75.9%, Cic atr: 62.26%
Molt lluny	Lyr ple	Cic bar lus: 99.75%, Lyr ple: 73.17%	
Molt lluny	Lyr ple	Cic bar lus: 90.33%, Lyr ple: 54.27%	
Correcta	Lyr ple	Lyr ple: 90.76%	
Correcta	Lyr ple	Lyr ple: 99.62%	
Correcta	Lyr ple	Cic bar lus: 99.71%, Lyr ple: 73.05%	
Molt soroll	Lyr ple	Lyr ple: 99.87%	
Molt soroll	Lyr ple	Lyr ple: 99.19%	
Molt soroll	Lyr ple	Lyr ple: 72.98%, Cic orn: 47.52%	
Molt soroll	Lyr ple	Lyr ple: 99.5%	
Correcta	Lyr ple	Lyr ple: 99.31%	Tet arg: 17.73%

Correcta	Tet arg	Tet arg: 96.02%	
Correcta	Tet arg	Tet arg: 86.26%	
Correcta	Tet arg	Tet arg: 82.87%	
Correcta	Tet arg	Tet arg: 97.89%	
Correcta	Tet arg	Tet arg: 75.62%, Cic cer: 21.85%	
Correcta	Tet arg	Tet arg: 86.62%	
Correcta	Tet arg	Tet arg: 99.61%, Cic cer: 15.09%	
Correcta	Tet arg	Tet arg: 99.64%, Cic cer: 38.64%	
Correcta	Tet arg	Tet arg: 84.41%	
Correcta	Tet arg	Tet arg: 99.57%, Cic orn: 18.2%	

Correcta	Tet arg	Tet arg: 99.14%	
Correcta	Tet arg	Tet arg: 99.75%	
Correcta	Tet arg	Tet arg: 96.22%	
Molt soroll	Tet arg	Tet arg: 99.17%	
Molt soroll	Tet arg	Tet arg: 99.91%	
Molt soroll	Tet arg	Tet arg: 97.69%	
Molt soroll	Tet arg	Tet arg: 99.96%	
Molt soroll	Tet arg	Tet arg: 99.74%, Cic orn: 24.59%	
Molt soroll	Tet arg	Tet arg: 99.57%, Cic cer: 21.28%	
Molt soroll	Tet arg	Tet arg: 95.29%	
Correcta	Tet arg	Tet arg: 99.62%	
Correcta	Tet arg	Tet arg: 99.95%	
Correcta	Tet arg	Tet arg: 99.38%	
Individus de diferents espècies	Tet arg + Cic orn	No s'ha trobat coincidències	
<i>Cic orn</i> cantant de fons	Tet arg + Cic orn	Tet arg: 84.62%	
Individus de diferents espècies, diverses <i>Cicada orní</i> cantant alhora	Tet arg + Cic orn	Cic bar lus: 35.48%	
Individus de diferents espècies, diverses <i>Cicada orní</i> cantant alhora	Tet arg + Cic orn	Cic bar lus: 81.25%, Cic orn: 17.92%	Tet pyg: 19.2%
Individus de diferents espècies, diverses <i>Cicada orní</i> cantant alhora	Tet arg + Cic orn	No s'ha trobat coincidències	
<i>Cic orn</i> cantant de fons	Tet arg + Cic orn	Tet arg: 84.4%, Cic cer: 23.39%	
Individus de diferents espècies	Tet arg + Cic orn	Cic orn: 97.46%	
Correcta	Tet arg	Tet arg: 73.49%	
Correcta	Tet arg	Tet arg: 73.5%	

Correcta	Tet pyg	No s'ha trobat coincidències	Tet pyg: 80.81%
Correcta	Tet pyg	Tib tom: 78.78%	Tet pyg: 64.58%
Correcta	Tet pyg	Tib tom: 45.78%, Hil var: 23.4%	Tet pyg: 88.72%
Correcta	Tet pyg	Hil var: 78.6%, Cic orn: 26.92%, Tib tom: 20.77%	Tet pyg: 90.57%
Correcta	Tet pyg	Tet pyg: 99.36%	
Correcta	Tet pyg	Tet pyg: 99.39%	

Correcta	Tet pyg	Tet pyg: 82.18%	
Correcta	Tet pyg	Cic atr: 95.82%, Tet pyg: 92.52%	
Correcta	Tet pyg	Tet pyg: 99.78%	
Correcta	Tet pyg	No s'ha trobat coincidències	Tet pyg: 87.75%
Correcta	Tet pyg	Cic orn: 54.03%, Hil var: 33.9%	Tet pyg: 99.62%
Correcta	Tet pyg	No s'ha trobat coincidències	Tet pyg: 81.63%
Correcta	Tet pyg	Tet pyg: 69.39%	
Correcta	Tet pyg	Tet pyg: 99.54%	
Correcta	Tet pyg	Tet pyg: 84%	
Correcta	Tet pyg	Tet pyg: 90.33%	
Correcta	Tet pyg	Tet pyg: 99.2%	
Correcta	Tet pyg	Tet pyg: 99.41%	
Correcta	Tet pyg	Tet pyg: 99.91%	
Correcta	Tet pyg	Tet pyg: 99.85%	
Correcta	Tet pyg	Tet pyg: 82.67%	
Correcta	Tet pyg	Tet pyg: 98.37%	
Correcta	Tet pyg	Tet pyg: 98.17%	
Correcta	Tet pyg	Tet pyg: 88.74%	
Correcta	Tet pyg	Tet pyg: 99.29%	
Correcta	Tet pyg	Tet pyg: 99.69%	
Correcta	Tet pyg	Tet pyg: 99.11%	
Correcta	Tet pyg	Tet pyg: 99.78%	
Correcta	Tet pyg	Tet pyg: 99.66%	
Correcta	Tet pyg	Tet pyg: 90.15%	
Correcta	Tet pyg	Tet pyg: 57.54%	
Correcta	Tet pyg	Tet pyg: 64.65%	
Correcta	Tet pyg	Tet pyg: 87.41%	
Correcta	Tet pyg	Tet pyg: 90.84%	
Correcta	Tet pyg	Tet pyg: 90.43%	
Correcta	Tet pyg	Tet pyg: 63.59%	
Correcta	Tet pyg	No s'ha trobat coincidències	
Correcta	Tet pyg	Tet pyg: 92.9%	
Correcta	Tet pyg	Tet pyg: 72.56%	
Correcta	Tet pyg	Tet pyg: 68.29%	
Correcta	Tet pyg	Tet pyg: 84.07%	
Correcta	Tet pyg	Tet pyg: 93%	
Correcta	Tet pyg	Tet pyg: 77.98%	
Correcta	Tet pyg	Tet pyg: 88.16%	

Correcta	Tet pyg	Cic orn: 21.74%, Hil var: 21.48%	Tet pyg: 99.96%
Correcta	Tib cor far + Cic orn + Lyr ple	Tib cor fai: 99.6%, Cic atr: 24.22%	
Molt lluny	Tib cor fai	No s'ha trobat coincidències	
Correcta	Tib cor fai	Tib cor fai: 85.72%	
Correcta	Tib cor fai	Tib cor fai: 81.63%, Lyr ple: 64.5%	
Correcta	Tib cor fai	Tib cor fai: 90.58%	
Correcta	Tib cor fai	Tib cor fai: 90.98%	
Correcta; cant trencat	Tib cor fai	No s'ha trobat coincidències	
Correcta	Tib cor fai	Tib cor fai: 98.81%	
Correcta	Tib cor fai	Tib cor fai: 98.56%	
Correcta	Tib cor fai	Tib cor fai: 90.09%	
Correcta; cant trencat	Tib cor fai	Cic cer: 17.43%	
Correcta	Tib cor fai	Tib cor fai: 96.62%	
Correcta	Tib cor fai	Tib cor fai: 99.75%, Lyr ple: 22.78%	
Correcta	Tib cor cor	Tib cor fai: 93.75%	
Individus de diferents espècies	Tib cor cor + Cic orn	Cic atr: 19.75%	
<i>Cic orn</i> cantant de fons	Tib cor cor + Cic orn	Tib cor fai: 74.34%, Lyr ple: 42.29%	
Individus de diferents espècies	Tib cor cor + Cic orn	Cic atr: 90.54%	
<i>Cic orn</i> cantant de fons	Tib cor cor + Cic orn	Tib cor fai: 79.34%, Cic atr: 24.36%	
Individus de diferents espècies	Tib cor cor + Cic orn	Cic orn: 77.12%	Tet pyg: 15.53%
Individus de diferents espècies	Tib cor cor + Cic orn	Cic atr: 31.91%	
Molt soroll, <i>Cic orn</i> cantant de fons	Tib cor cor + Cic orn	Tib cor fai: 86.77%	
Molt soroll, <i>Cic orn</i> cantant de fons	Tib cor cor + Cic orn	Tib cor fai: 99.36%, Tib gar: 34.59%	
Individus de diferents espècies	Tib gar + Cic orn	Cic orn: 92.06%	
Individus de diferents espècies	Tib gar + Cic orn	Cic atr: 85.86%, Lyr ple: 27.4%	
Correcta	Tib gar	Tib qua: 75.33%, Lyr ple: 56.12%	
Correcta	Tib gar	Lyr ple: 50.92%, Tib tom: 21.63%, Tib gar: 18.9%	
Correcta	Tib gar	Tib gar: 99.9%, Lyr ple: 24.23%	

Correcta	Tib gar	Tib gar: 99.88%, Lyr ple: 16.63%	
Correcta	Tib gar	Tib gar: 99.19%, Tib cor fai: 19.3%, Lyr ple: 19.23%	
Correcta	Tib gar	Tib gar: 99.47%, Lyr ple: 26.31%	
Correcta	Tib gar	Tib gar: 99.24%, Lyr ple: 33.62%, Tib hae: 28.11%	
Molt lluny	Tib gar	Lyr ple: 75.08%	
Molt lluny	Tib gar	Cic bar lus: 34.77%	
Correcta	Tib gar	Tib gar: 53.79%, Cic atr: 52.81%, Lyr ple: 49.48%, Tib qua: 30.52%	
Correcta	Tib gar	Tib gar: 75.87%, Lyr ple: 34.37%, Tib qua: 24.02%	
Correcta	Tib gar	Tib gar: 65.75%, Tib cor fai: 38.23%	
Molt lluny	Tib gar	Lyr ple: 57.07%	
Molt lluny	Tib gar	Lyr ple: 75.72%	

Correcta	Tib hae	Tib hae: 99.08%, Cic bar lus: 21.62%	
Correcta	Tib hae	Tib hae: 99.4%, Cic bar lus: 19.97%	
Correcta	Tib hae	Tib hae: 99.4%	
Correcta	Tib hae	Tib hae: 99.33%	
Correcta	Tib hae	Tib hae: 99.17%, Lyr ple: 23.18%	
Correcta	Tib hae	Tib hae: 99.47%, Cic orn: 18.12%	
Correcta	Tib hae	Tib hae: 72.08%, Cic orn: 17.51%	
Correcta	Tib hae	Tib hae: 99.27%, Cic orn: 17.21%	
Correcta	Tib hae	Tib hae: 99.06%	Cic atr: 26.07%
Individus de diferents espècies	Tib hae + Lyr ple	Cic bar lus: 98.19%, Lyr ple: 72.17%	
Correcta	Tib hae	Tib hae: 99.91%, Cic bar lus: 19.31%	
Correcta	Tib hae	Tib hae: 99.66%	
Correcta	Tib hae	Tib hae: 99.64%	Tet pyg: 21.48%
Correcta	Tib hae	Tib hae: 93.04%	
Correcta	Tib hae	Tib hae: 100.0%, Cic bar lus: 40.23%, Lyr ple: 24.67%	
Correcta	Tib hae	Tib hae: 99.7%, Cic bar lus: 37.91%, Lyr ple: 25.73%	
Diversos individus cantant alhora	Tib hae	Cic bar lus: 95.15%, Lyr ple: 73.31%	
Correcta; cant trencat	Tib hae	Cic orn: 80.67%	Tet pyg: 16.68%
Molt lluny	Tib hae	Cic bar lus: 84.66%	Tet pyg: 29.74%
Correcta	Tib hae	Tib hae: 67.45%	Tet pyg: 32.19%
Correcta	Tib hae	Tib hae: 99.93%	

Correcta	Tib hae	Tib hae: 99.36%, Cic bar lus: 24.63%	
Correcta	Tib hae	Tib hae: 99.42%	
Correcta	Tib hae	Tib hae: 99.77%, Cic orn: 16.99%	Tet pyg: 27.54%
Molt lluny	Tib hae	Cic bar lus: 91.53%	
Molt soroll	Tib hae	Tib hae: 99.95%, Cic bar lus: 48.21%	
Molt soroll i molt lluny	Tib hae	Cic bar lus: 48.87%	
Molt soroll i molt lluny	Tib hae	Cic atr: 59.91%, Lyr ple: 27.9%	

Correcta	Tib qua	Tib qua: 99.64%	
Correcta	Tib qua	Tib qua: 95.71%	
Correcta	Tib qua	Tib qua: 99.19%, Lyr ple: 35.94%	
Correcta	Tib qua	Tib qua: 95.01%	
Correcta	Tib qua	Tib qua: 99.72%, Cic atr: 16.34%	
Correcta	Tib qua	Tib qua: 96.13%	
Correcta	Tib qua	Tib qua: 99.03%	
Correcta	Tib qua	Tib qua: 99.3%	
Correcta	Tib qua	Tib qua: 83.74%	
Correcta	Tib qua	Tib qua: 89.34%	
Correcta	Tib qua	Tib qua: 99.87%	
Correcta	Tib qua	Tib qua: 94.62%	
Gravació massa curta (0.4 segons)	Tib qua	No s'ha trobat coincidències	Tet pyg: 27.82%
Correcta	Tib qua	Tib qua: 99.42%	
Molt soroll	Tib qua	Tib qua: 77.46%	
Molt soroll	Tib qua	Tib qua: 68.21%, Lyr ple: 23.39%	
Cant trencat i poc definit, impossible determinar NGP	Tib qua	Hil var: 75.19%, Tib qua: 35.78%, Tib gar: 16.11%	
Molt soroll	Tib qua	Tib qua: 33.63%	
Correcta; cant trencat	Tib qua	Lyr ple: 28.89%, Tet arg: 23.75%	

Correcta	Tib tom	Tib tom: 99.03%, Lyr ple: 34.45%	
Correcta	Tib tom	Tib tom: 40.13%	Tet pyg: 97.68%
Correcta	Tib tom	Tib tom: 97.84%	
Correcta	Tib tom	Tib tom: 99.99%	
Correcta	Tib tom	Tib tom: 99.49%	
Correcta	Tib tom	Tib tom: 99.99%	
Correcta	Tib tom	Tib tom: 99.63%	

Correcta	Tib tom	Tib tom: 99.69%, Lyr ple: 21.71%	
Correcta	Tib tom	Tib tom: 80.6%	
Correcta	Tib tom	Tib tom: 95.56%	
Correcta	Tib tom	Tib tom: 96.92%	
Correcta	Tib tom	Tib tom: 99.95%, Lyr ple: 30.53%	
Correcta	Tib tom	Tib tom: 99.89%, Lyr ple: 16.21%	
Correcta	Tib tom	Tib tom: 99.74%	
Correcta	Tib tom	Tib tom: 99.24%, Lyr ple: 33.87%	
Correcta	Tib tom	Tib tom: 99.91%, Lyr ple: 21.28%	
Correcta	Tib tom	Tib tom: 99.07%, Lyr ple: 35.68%	
Molt soroll	Tib tom	Tib tom: 51.13%, Hil var: 42.76%	Tet pyg: 82.8%
Molt soroll	Tib tom	Tib tom: 99.87%	
Molt soroll	Tib tom	Tib tom: 96.09%	
Molt soroll	Tib tom	Tib tom: 99.42%	
Correcta	Tib tom	Tib tom: 99.87%, Lyr ple: 29.29%	

Taula 9.10: Resultats d'identificació obtinguts

La llegenda dels colors amb els quals s'ha pintat les cel·les de la Taula 9.10 és la que mostra la Taula 9.11.

Color	Significat
	Identificació correcta
	Identificació automàtica impossible per una distància excessiva respecte a l'individu enregistrat o perquè la gravació inclou diversos individus cantant alhora amb una potència similar
	Identificació incorrecta malgrat el compliment de totes les condicions esmentades a les instruccions d'ús de l'aplicació, majoritàriament a causa de la manca de precisió en la determinació d'un o més paràmetres del cant

Taula 9.11: Llegenda dels colors de la Taula 9.10

Encara que els fitxers mostrats siguin només d'espècies de cigala, també s'ha tingut en compte, a la fase d'identificació, que no es pogués considerar com a cant de cigala un cant emès per un altre tipus d'insecte, ja que hi ha algunes espècies d'ortòpter que emeten sons semblants al de la *Tettigetta argantata*. No s'ha disposat de gaires mostres de cants d'espècies d'aquest grup que siguin susceptibles de ser confosos amb el de la *Tettigetta argantata*, però el resultat per a tots aquests fitxers ha sigut d'un 0% de semblança amb qualsevol espècie de cigala.

D'altra banda, és important aclarir, encara que sigui de lògica, a quina espècie de cigala correspon cadascun dels codis 6 (tres primeres lletres del gènere i tres primeres lletres del nom propi de l'espècie, sempre que aquesta combinació no entri en conflicte amb la de cap altra espècie) que s'ha usat a la taula anterior. També s'ha inclòs les tres primeres lletres del nom propi de la subespècie en els casos en què pertoca. S'ha escrit els noms de les espècies així per evitar incrementar encara més l'enorme quantitat d'espai que ja ocupa la llarga taula dels resultats d'identificació obtinguts.

Codi 6	Significat
Cic orn	<i>Cicada orni</i>
Cic bar lus	<i>Cicada barbara lusitanica</i>
Cic atr	<i>Cicadatra atra</i>
Cic bre	<i>Cicadetta brevipennis</i>
Cic cer	<i>Cicadetta cerdaniensis</i>
Hil var	<i>Hilaphura varipes</i>
Lyr ple	<i>Lyristes plebejus</i>
Tet arg	<i>Tettigetta argentea</i>
Tet pyg	<i>Tettigetta pygmaea</i>
Tib cor cor	<i>Tibicina corsica corsica</i>
Tib cor fai	<i>Tibicina corsica fairmairei</i>
Tib gar	<i>Tibicina garricola</i>
Tib hae	<i>Tibicina haematodes</i>
Tib qua	<i>Tibicina quadrisignata</i>
Tib tom	<i>Tibicina tomentosa</i>

Taula 9.12: Correspondència de cada espècie amb el seu codi 6

A la Taula 9.13 es resumeix els resultats de manera genèrica, basant-se tan sols en l'espècie per a la qual s'ha trobat un millor nivell de semblança a cada fitxer.

Espècie	Veritables positius	Falsos negatius	Veritables negatius	Falsos positius
Cic orn	78/81 (96.30%)	3/81 (3.70%)	347/349 (99.43%)	2/349 (0.57%)
Cic bar lus	30/36 (83.33%)	6/36 (16.67%)	393/394 (99.75%)	1/394 (0.25%)
Cic atr	41/42 (97.62%)	1/42 (2.38%)	386/388 (99.48%)	2/388 (0.52%)
Cic bre	51/56 (91.07%)	5/56 (8.93%)	374/374 (100.00%)	0/374 (0.00%)
Cic cer	18/18 (100%)	0/18 (0%)	409/412 (99.27%)	3/412 (0.73%)

Hil var	4/4 (100%)	0/4 (0%)	424/426 (99.53%)	2/426 (0.47%)
Lyr ple	30/32 (93.75%)	2/32 (6.25%)	396/398 (99.50%)	2/398 (0.50%)
Tet arg	27/27 (100%)	0/27 (0%)	403/403 (100%)	0/403 (0%)
Tet pyg	42/45 (93.33%)	3/45 (6.67%)	380/385 (98.70%)	5/385 (1.30%)
Tib cor fai	15/17 (88.24%)	2/17 (11.76%)	413/413 (100%)	0/413 (0%)
Tib gar	8/10 (80.00%)	2/10 (20.00%)	418/420 (99.52%)	2/420 (0.48%)
Tib hae	21/22 (95.45%)	1/22 (4.55%)	408/408 (100%)	0/408 (0%)
Tib qua	16/18 (88.89%)	2/18 (11.11%)	411/412 (99.76%)	0/412 (0.24%)
Tib tom	20/22 (90.91%)	2/22 (9.09%)	406/408 (99.51%)	2/408 (0.49%)

Taula 9.13: Taula d'encerts i errors basats en l'espècie per a la qual s'ha trobat un millor nivell de semblança a cada fitxer

Els fitxers que s'ha tingut en compte a l'hora d'elaborar els resultats són aquells en què el so arriba a un mínim de potència, que duren més d'un segon, que no contenen cants de diferents espècies amb una amplitud important (excepte si les seves freqüències d'emissió permeten diferenciar-los clarament) i que, en cas de tenir diversos cants simultanis d'una mateixa espècie, el cant d'un dels individus sobresurt respecte als altres. S'ha inclòs dins d'aquest grup de gravacions aquelles les condicions de les quals no permeten identificar l'espècie de forma automàtica per qüestions com ara una freqüència de mostreig insuficient, altres individus cantant de fons, etcètera. S'ha fet així perquè les primeres són situacions de les quals s'adverteix a l'aplicació i que l'usuari pot resoldre (pot fer gravacions més llargues i/o més a prop de l'individu que vol identificar), però no es pot registrar cants amb freqüències de mostreig superiors a les que permet el mòbil i, en moltes ocasions, no es pot evitar tenir alguna cigala cantant de fons mentre se'n vol identificar una altra.

Per si no s'acaba d'entendre les xifres, s'aclarirà d'on surten amb un exemple. Dels 81 enregistraments de *Cicada orni* que compleixen les condicions especificades a les instruccions d'ús de l'aplicació, 78 resultats han donat com a primera opció la *Cicada orni*, mentre que als 3 restants s'ha trobat nivells de semblança superiors amb alguna altra espècie (en tots els casos perquè no s'ha pogut comprovar l'espectre freqüencial d'aquestes espècies, que en cap cas podrien coincidir amb les freqüències d'emissió d'una *Cicada orni*), de manera que es té un 78/81 de veritables positius i un 3/81 de falsos negatius. D'altra banda, en 2 de les 349 gravacions vàlides d'altres espècies, l'aplicació ha considerat que l'espècie amb la qual encaixava millor el cant en qüestió era la *Cicada orni*, la qual cosa dona un 347/349 de veritables negatius i un 2/349 de falsos positius.

S'inclou com a falsos positius els resultats d'aquelles identificacions en què la baixa freqüència de mostreig o l'aplicació d'un filtre de freqüències no permeten determinar l'espectre freqüencial del cant i, consegüentment, possibiliten l'obtenció d'un coeficient de similitud per a espècies amb freqüències d'emissió superiors. Això és el que ha provocat un percentatge de falsos positius tan alt (1.3%) a les *Tettigettula pygmea*, atès que les freqüències amb què emet el cant són molt elevades i, per tant, es requereix una alta freqüència de mostreig per poder comprovar el seu espectre freqüencial amb garanties. Encara que l'aplicació no pugui fer res per conèixer l'espectre freqüencial

real del cant en aquestes gravacions, es compta els seus resultats com a erronis sempre que el nivell de semblança més alt no correspongui a l'espècie correcta, fins i tot si aquest és el més alt entre els de totes les espècies per a les quals s'ha pogut comprovar la coincidència de les freqüències d'emissió. S'ha pres aquesta decisió perquè les coincidències directes que es donarà a l'usuari en aquests casos inclouran, malgrat ser incomplets, els coeficients de similitud amb espècies per a les quals no s'ha pogut comprovar la coincidència de l'espectre freqüencial, indicant, això sí, el problema trobat juntament amb el resultat.

A les Figures 9.18 - 9.31 es representa gràficament els resultats de l'última taula per mostrar els percentatges d'encert i d'error d'una manera més visual.

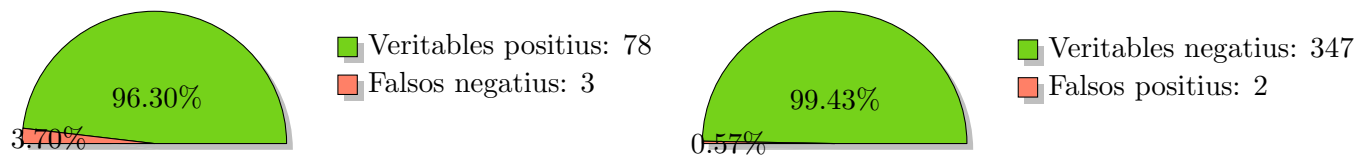


Figura 9.18: Gràfics d'encerts i errors de la *Cicada orni*

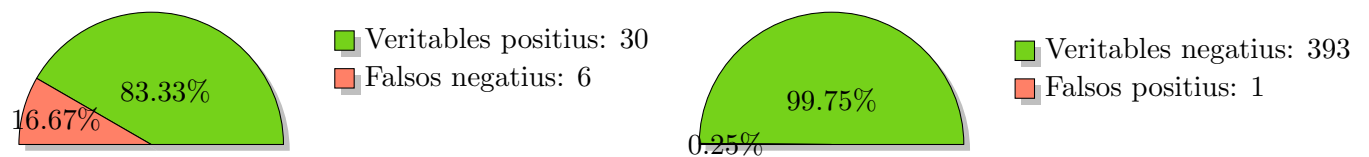


Figura 9.19: Gràfics d'encerts i errors de la *Cicada barbara lusitanica*

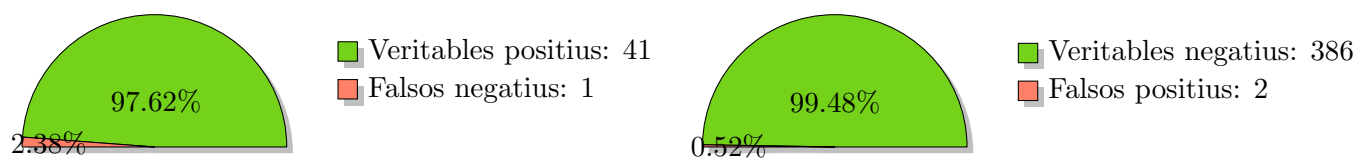


Figura 9.20: Gràfics d'encerts i errors de la *Cicadatra atra*

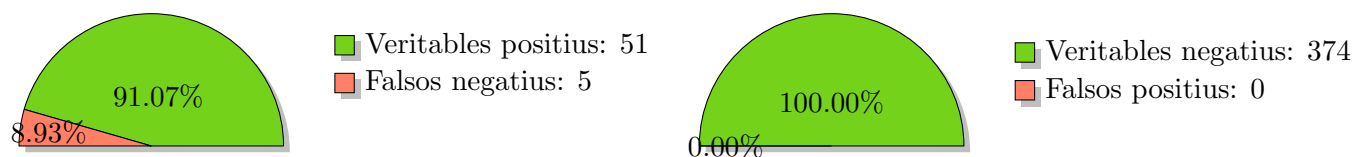


Figura 9.21: Gràfics d'encerts i errors de la *Cicadetta brevipennis*

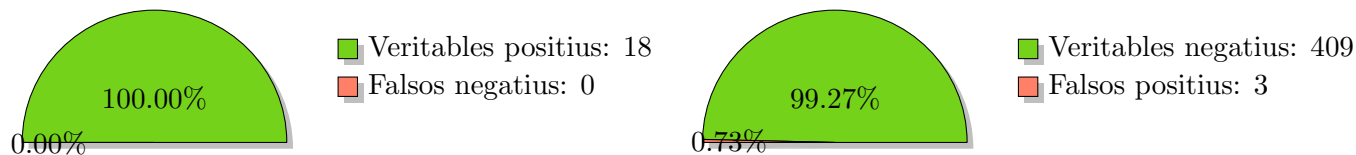


Figura 9.22: Gràfics d'encerts i errors de la *Cicadetta cerdaniensis*

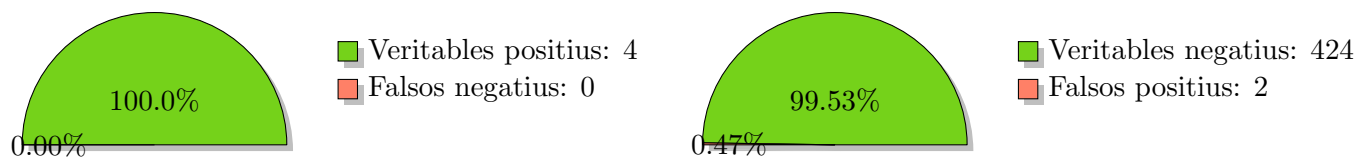


Figura 9.23: Gràfics d'encerts i errors de la *Hilaphura varipes*

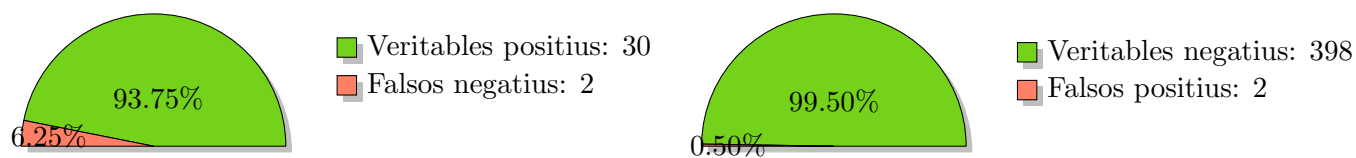


Figura 9.24: Gràfics d'encerts i errors de la *Lyristes plebejus*

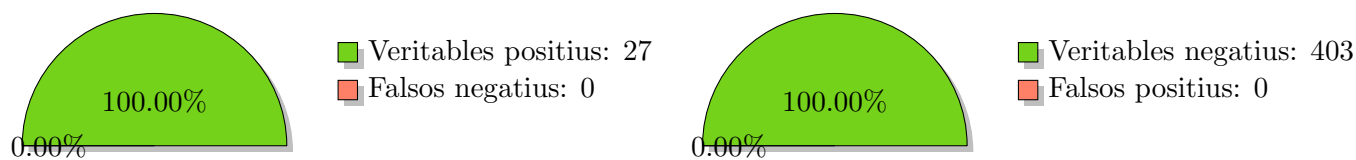


Figura 9.25: Gràfics d'encerts i errors de la *Tettigetta argantata*

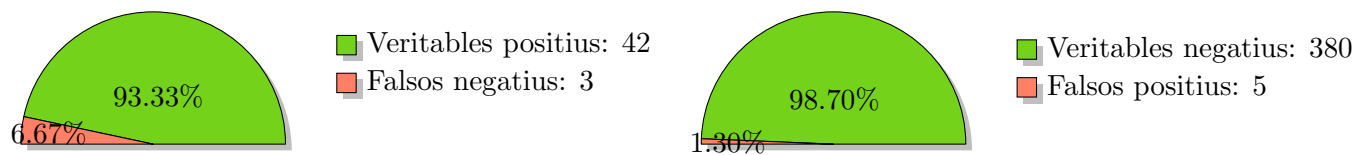


Figura 9.26: Gràfics d'encerts i errors de la *Tettigetta pygmea*

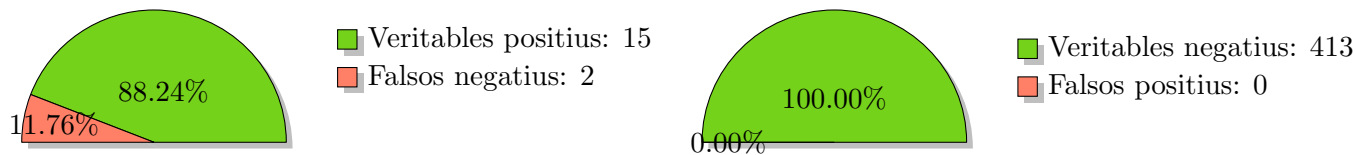


Figura 9.27: Gràfics d'encerts i errors de la *Tibicina corsica fairmairei*

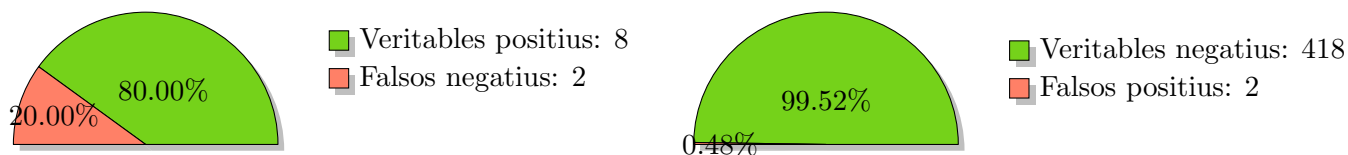


Figura 9.28: Gràfics d'encerts i errors de la *Tibicina garricola*

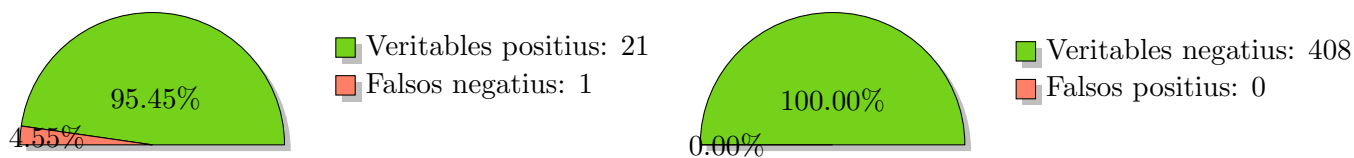


Figura 9.29: Gràfics d'encerts i errors de la *Tibicina haematodes*

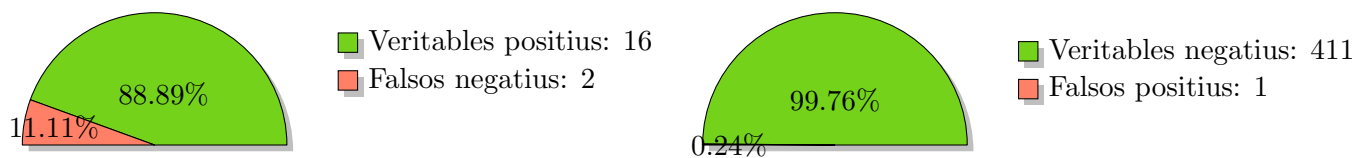


Figura 9.30: Gràfics d'encerts i errors de la *Tibicina quadrisignata*

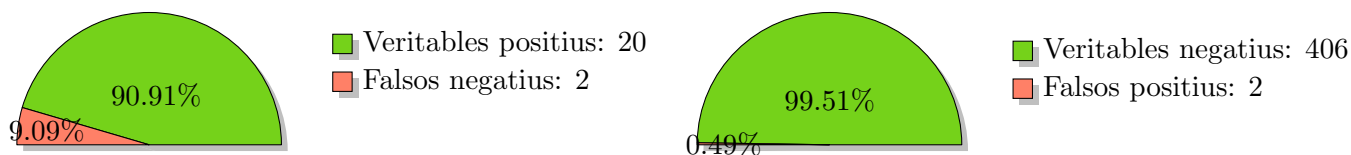


Figura 9.31: Gràfics d'encerts i errors de la *Tibicina tomentosa*

Els gràfics de les Figures 9.18 - 9.31 permeten visualitzar dues evidències sobre els resultats:

- Hi ha espècies en què la identificació és més fal·lible que en d'altres: lògicament, algunes espècies són més fàcilment identificables gràcies a alguna característica diagnòstica del seu cant o al fet que aquest presenti un seguit de trets que, combinats, en siguin altament definitoris.
- En general és més fiable un positiu que un negatiu: un fals positiu és un error summament més greu que un fals negatiu, ja que el primer pot resultar en una dada falsa, mentre que un fals negatiu en si simplement representa la no confirmació d'una dada verídica; és per això que el sistema d'identificació que s'ha implementat és força restrictiu, és a dir, dificulta trobar semblances altes en cants els valors dels paràmetres dels quals presentin petites variacions respecte als més habituals i, per tant, aconseguen evitar molts falsos positius.

Aprofundint més en els resultats, si en lloc d'avaluar el seu nivell de correctesa de forma binària a partir de l'espècie més semblant trobada es té en compte els nivells de semblança obtinguts per a cada espècie, se'n pot extreure les estadístiques mostrades a les Figures 9.32 - 9.45.

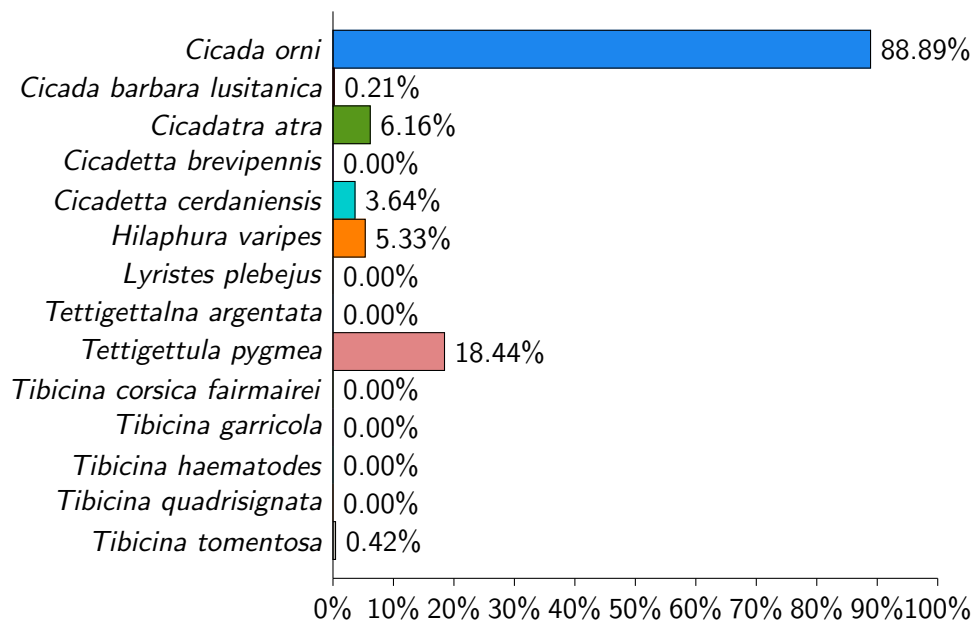


Figura 9.32: Semblances mitjanes en gravacions de *Cicada orni*

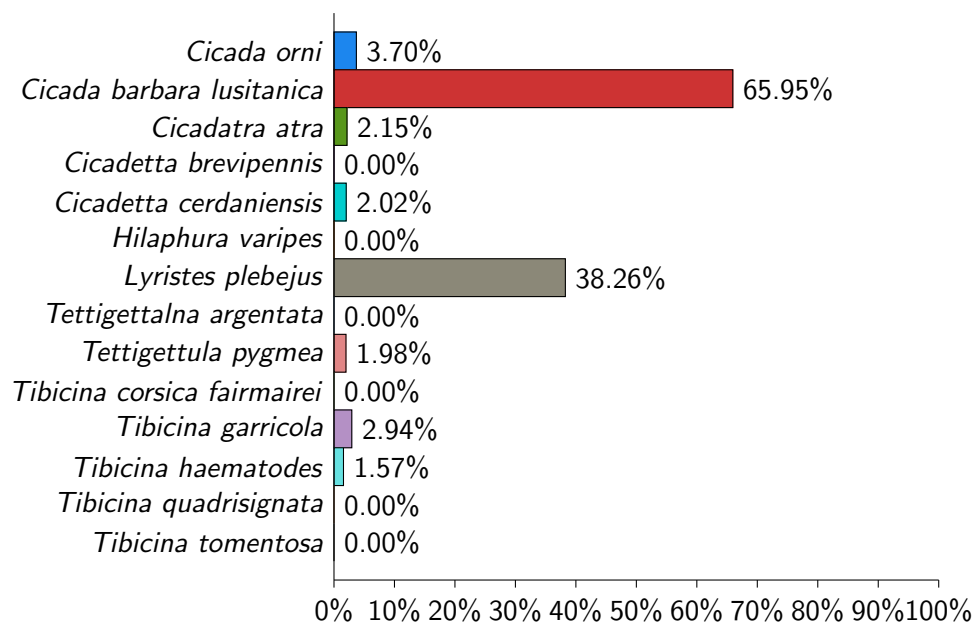


Figura 9.33: Semblances mitjanes en gravacions de *Cicada barbara lusitanica*

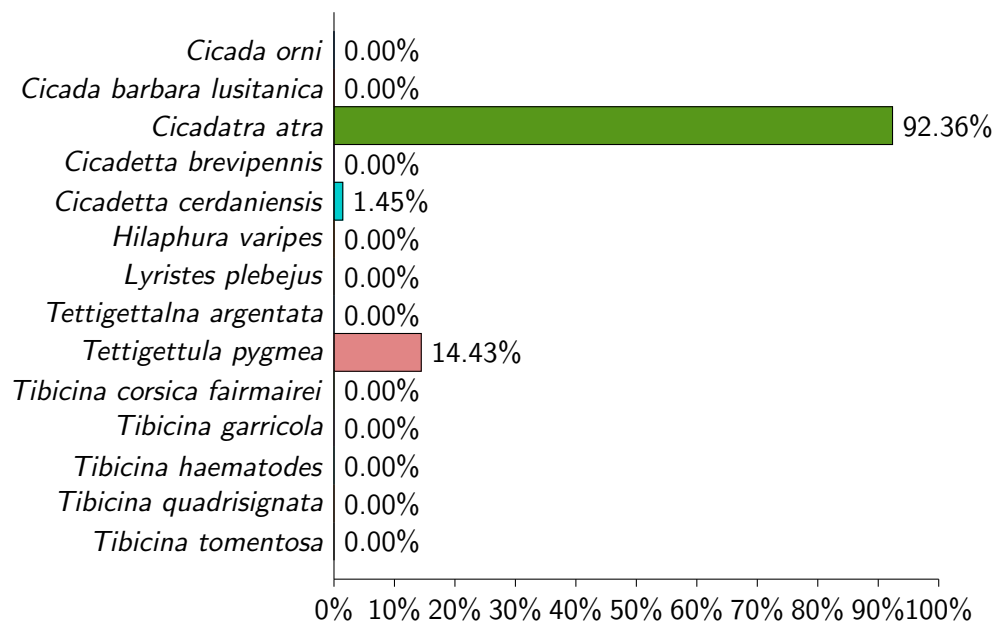
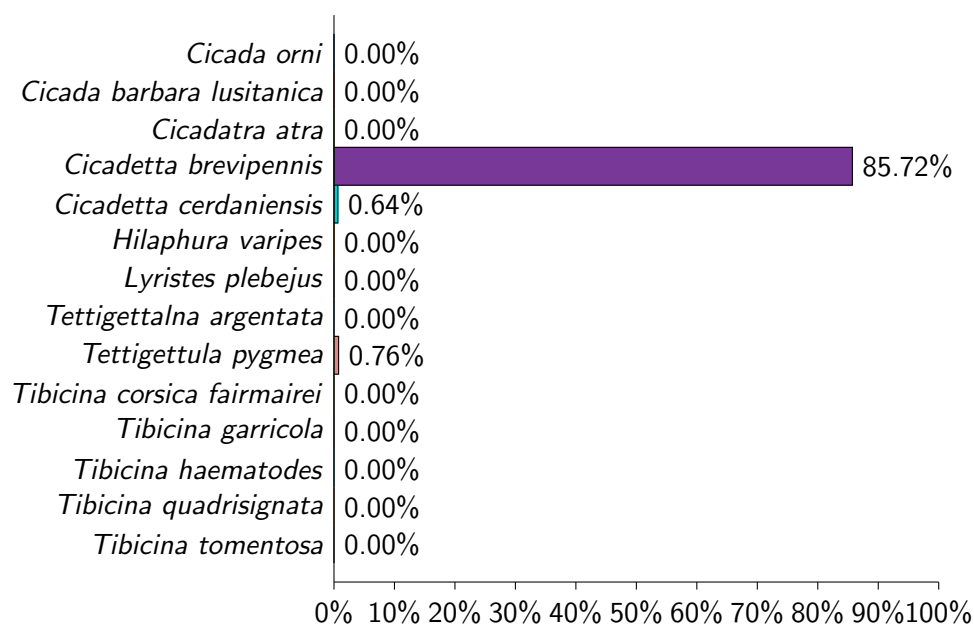
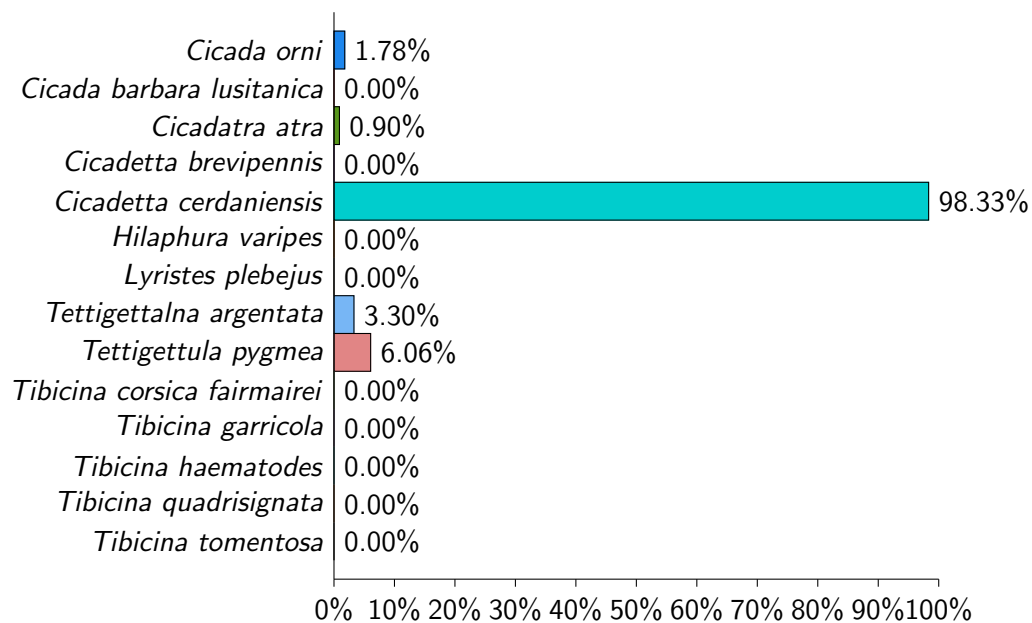
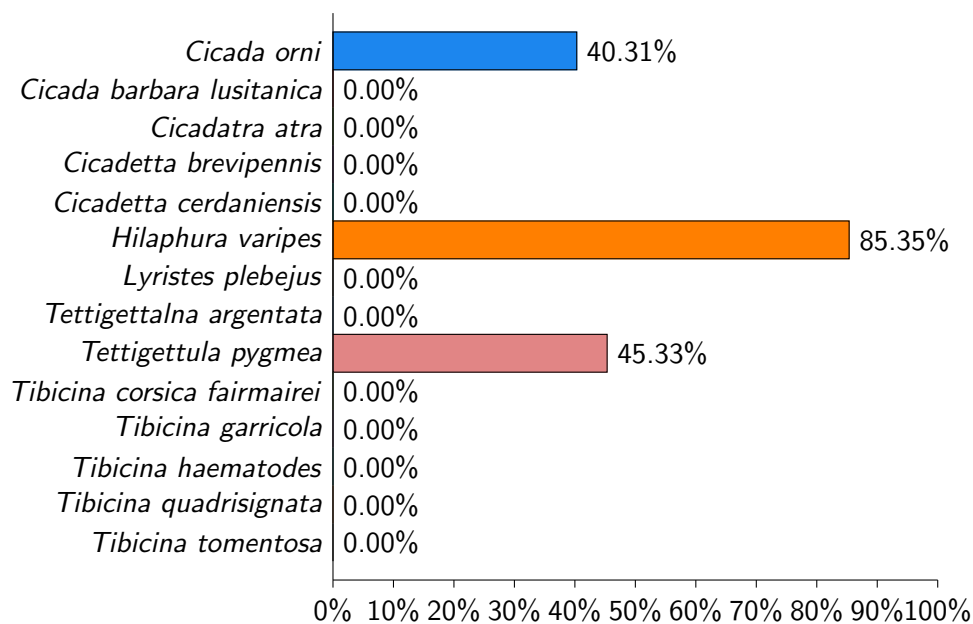
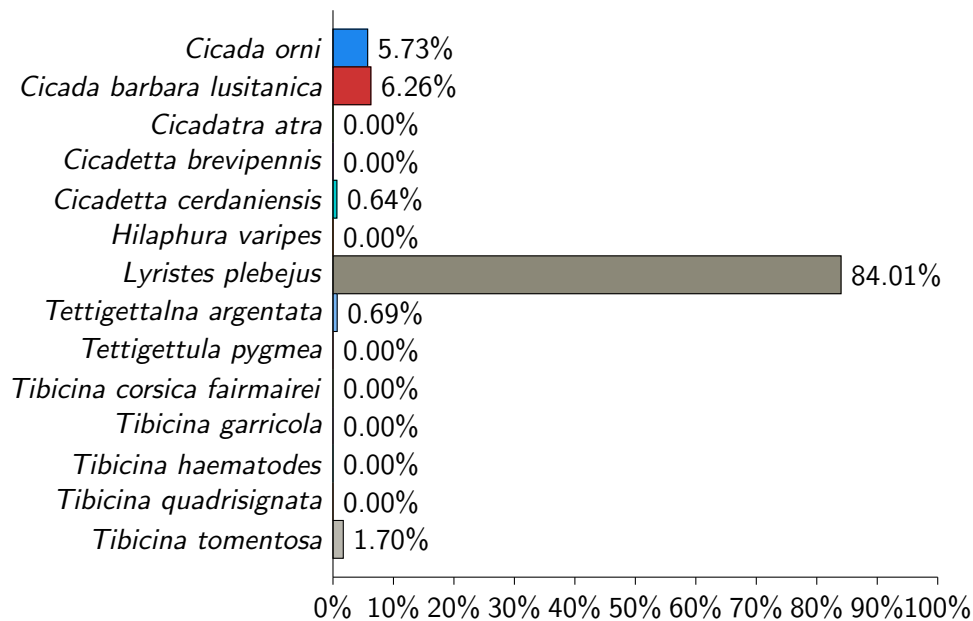
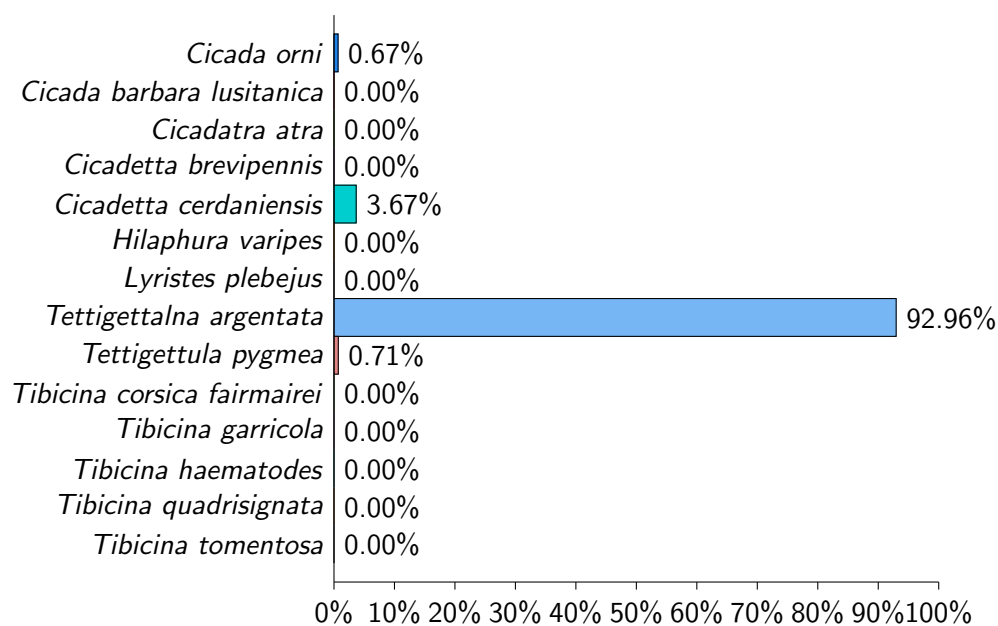
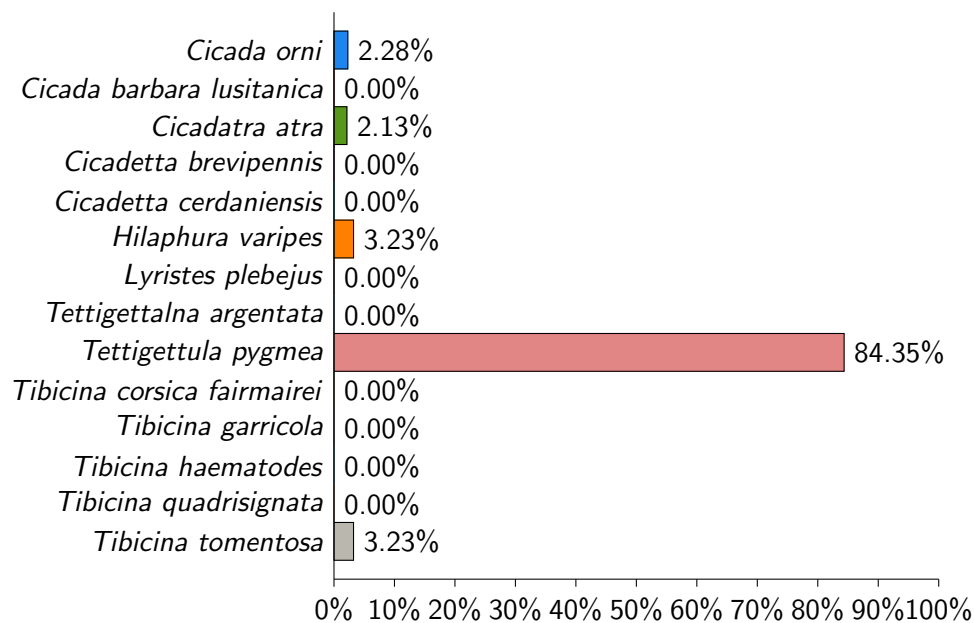


Figura 9.34: Semblances mitjanes en gravacions de *Cicadatra atra*

Figura 9.35: Semblances mitjanes en gravacions de *Cicadetta brevipennis*Figura 9.36: Semblances mitjanes en gravacions de *Cicadetta cerdaniensis*

Figura 9.37: Semblances mitjanes en gravacions de *Hilaphura varipes*Figura 9.38: Semblances mitjanes en gravacions de *Lyristes plebejus*

Figura 9.39: Semblances mitjanes en gravacions de *Tettigetta argantata*Figura 9.40: Semblances mitjanes en gravacions de *Tettigetta pygmaea*

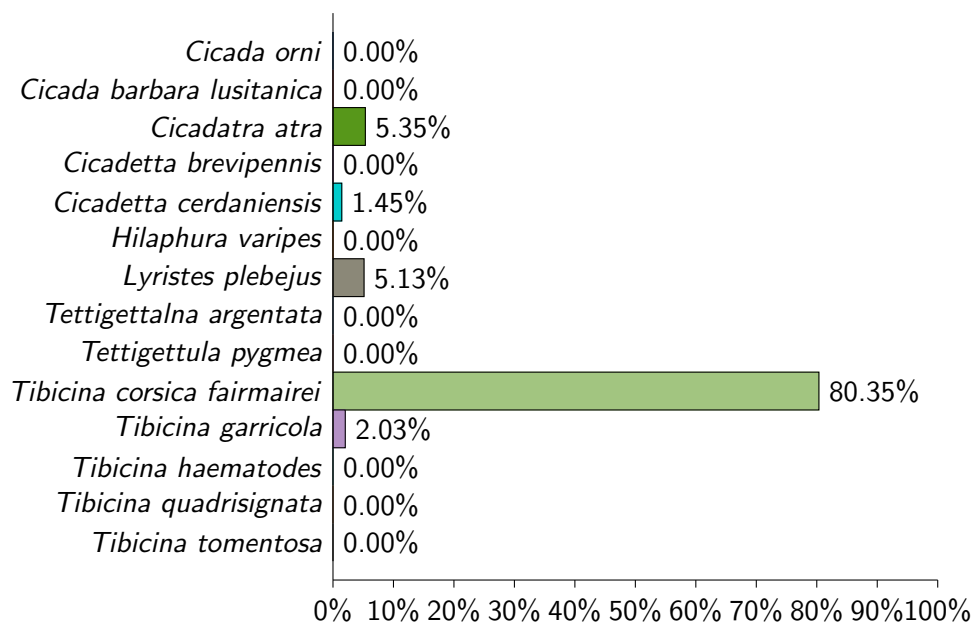


Figura 9.41: Semblances mitjanes en gravacions de *Tibicina corsica fairmairei*

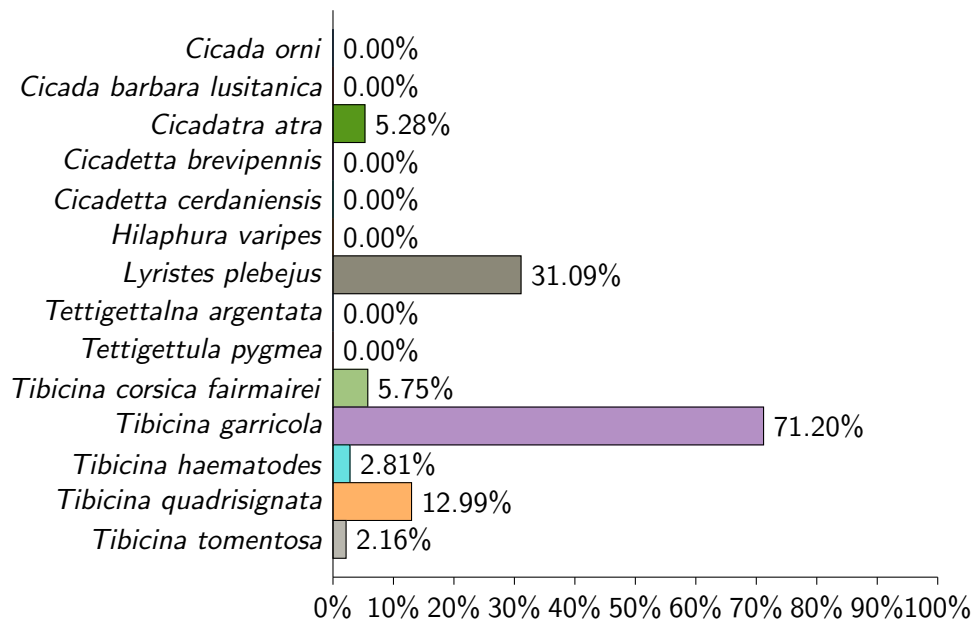
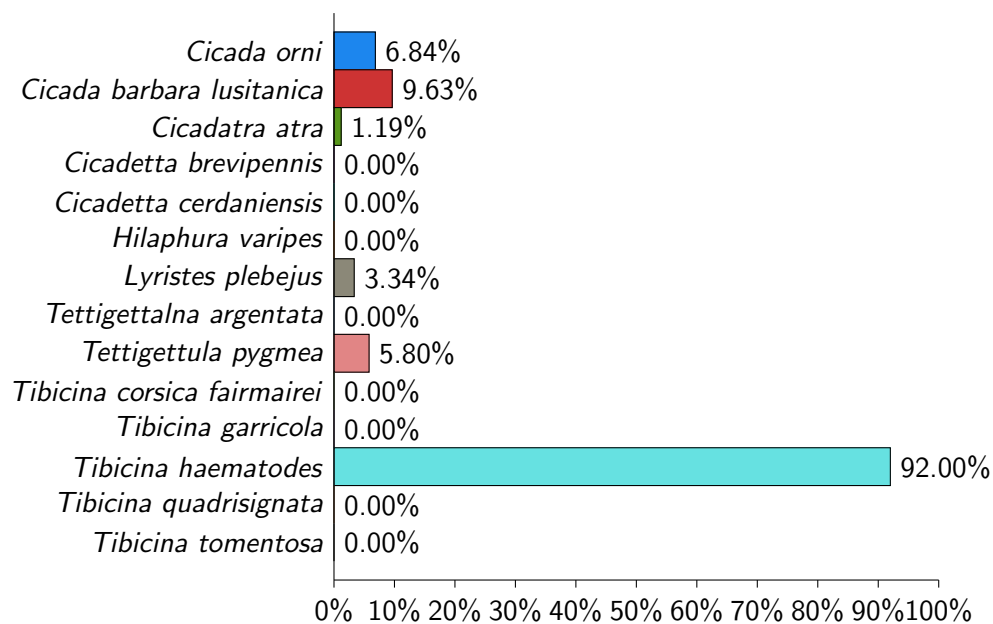
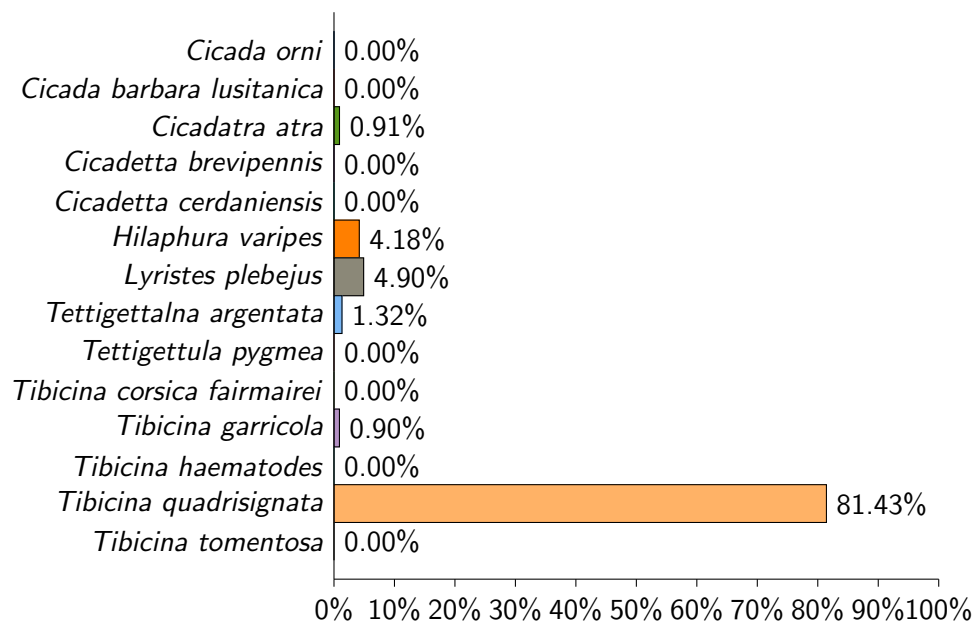


Figura 9.42: Semblances mitjanes en gravacions de *Tibicina garricola*

Figura 9.43: Semblances mitjanes en gravacions de *Tibicina haematodes*Figura 9.44: Semblances mitjanes en gravacions de *Tibicina quadrisignata*

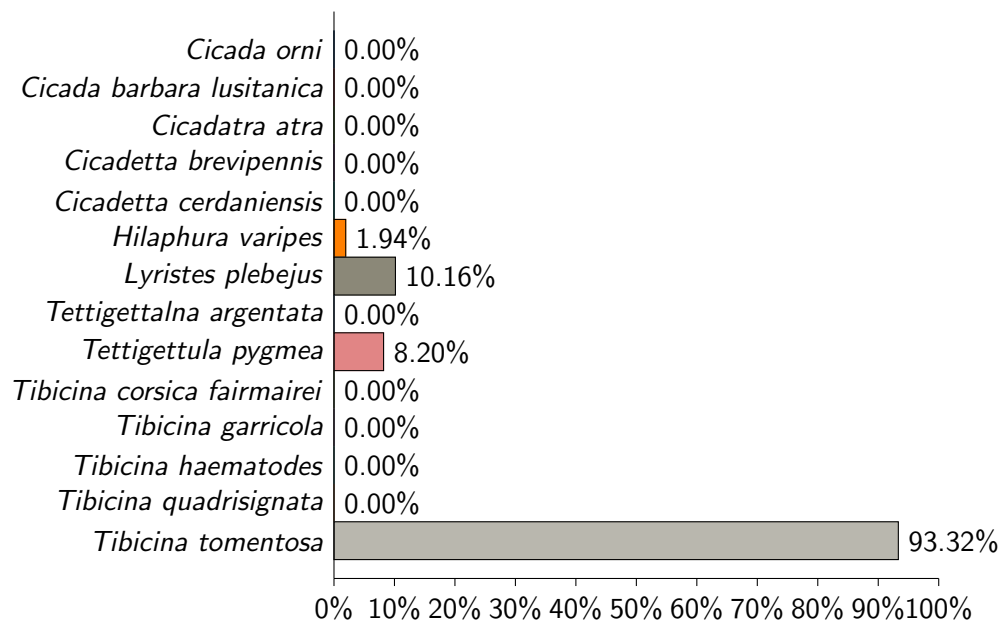


Figura 9.45: Semblances mitjanes en gravacions de *Tibicina tomentosa*

La valoració general dels resultats que es pot observar als gràfics de les Figures 9.32 - 9.45 és molt positiva. D'una banda, corroboren que hi ha espècies per a les quals la identificació és molt més precisa que per a altres; no obstant, en tots els casos existeix una diferència substancial entre l'espècie a la qual correspon l'individu enregistrat i qualsevol altra. Encara que aquest punt pugui semblar trivial, s'ha de tenir en compte que hi ha espècies els cants de les quals només poden ser distingits mitjançant la seva anàlisi informàtica, gràcies a diferències subtils que poques vegades es manifesten de manera evident a les gravacions, atès que quasi sempre hi ha algun factor que altera mínimament el so o bé aquest no pot ser captat amb la precisió necessària.

D'altra banda, és primordial precisar que una bona part dels enregistraments dels quals s'ha disposat estan fets per cigalòlegs amb aparells especialitzats que aconseguixen una potència i una qualitat del so netament superiors als que es pot obtenir amb un telèfon mòbil corrent. És per això que s'estima que la proporció de gravacions inservibles per a la identificació per motius de potència serà clarament més elevada en l'ús de l'aplicació al camp que dins de les mostres que s'ha analitzat per al treball. Així mateix, també és probable que, per aquest mateix motiu, algunes característiques dels cants quedin menys definides, si no emmascarades, en una proporció de gravacions major que la que s'ha trobat a les ja analitzades. Tenint en compte això i el fet que es compta amb escasses mostres d'algunes espècies en concret, encara que els resultats obtinguts presentin un alt percentatge d'incert es considera que el més prudent seria utilitzar els nivells de semblança que dona l'aplicació com a una dada de suport o criteri addicional, i no confiar-hi cegament a no ser que siguin meridianament clars. Un resultat inequívoc podria ser aquell que mostri coincidències amb una sola espècie, amb un nivell de semblança no inferior a un 85% i per a un enregistrament nítid i mínimament potent. Aquestes condicions es donen en 195 dels enregistraments que s'ha llistat anteriorment, la totalitat de les identificacions dels quals són correctes.

A nivell general, els resultats han superat clarament les expectatives inicials, i es considera

que l'anàlisi del cant i el sistema d'identificació implementats presenten un nivell d'encert i una resistència a la variació francament bons. S'ha pogut comprovar, en analitzar tots els fitxers de forma manual, que la proporció d'enregistraments en què s'ha aconseguit identificar l'espècie manualment però no de manera automàtica, mitjançant l'aplicació, és realment baixa (23 de 468). De fet, en molts d'aquests casos l'aplicació ja ha donat un cert nivell de semblança amb l'espècie correcta, encara que no fos el més alt. Certament, els coeficients resultants de la identificació automàtica de l'aplicació s'acosten molt als que es podria obtenir analitzant manualment els fitxers, suposant que es coneix tots els patrons que segueix cada cant i en quina mesura són definitoris de l'espècie que l'emet.

9.5.2 Aplicació per a Android

En aquest apartat es mostrarà com s'accedeix, des de la interfície d'usuari de l'aplicació desenvolupada per a Android, a les funcionalitats que aquesta ofereix.



(a) Pantalla principal de l'aplicació

(b) Informació sobre l'aplicació

(c) Instruccions d'ús de l'aplicació

Figura 9.46: Imatges de la pantalla principal de l'aplicació i de la informació i les instruccions d'ús de la mateixa

L'aplicació s'obre mostrant directament la pantalla principal, sense requerir cap inici de sessió previ, atès que només es contempla un sol rol d'usuari, el qual pot fer ús de totes les funcionalitats de l'aplicació sense restriccions. Com es pot comprovar a la imatge a de la Figura 9.46, la pantalla inicial ofereix tres opcions principals: visualitzar la llista d'espècies incloses a l'aplicació, enregistrar un cant per identificar-lo i analitzar un enregistrament ja existent. Així mateix, a la part superior esquerra de la pantalla es pot canviar l'idioma en què l'aplicació es comunica amb l'usuari per qualsevol dels altres tres disponibles, i la icona de la part superior dreta, al seu torn, permet

visualitzar la informació referent a l'aplicació o bé les instruccions d'ús de la mateixa, les quals són mostrades a les imatges **b** i **c**, respectivament, de la pròpia Figura 9.46.

Si es clica el primer botó, el que diu “Les espècies”, l'aplicació obre la pantalla on es mostra la llista de totes les espècies de cigala tractades, és a dir, totes aquelles amb presència real o potencial a Catalunya. Aquesta pantalla és la que apareix a la imatge **a** de la Figura 9.47, i permet visualitzar la fitxa de cada una de les espècies contingudes a la llista. En clicar una espècie, s'obre la seva fitxa, la qual conté una fotografia de referència de l'espècie, la seva fenologia, els criteris més útils per a la seva identificació visual, el seu hàbitat, els suports i alçades des d'on canta i algunes gravacions de mostra del seu cant. Aquestes gravacions, malgrat durar tan sols uns pocs segons cada una, representen la major part del pes de l'aplicació, de manera que s'ha inclòs només una mostra representativa de cada tipus de cant, a nivell molt genèric, que cada espècie pot emetre. Les imatges **b**, **c** i **d** de la Figura 9.47 mostren diferents exemples d'aquestes fitxes.



(a) Llista d'espècies

(b) Fitxa de Cic bar lus

(c) Fitxa de Lyr ple

(d) Fitxa de Tib tom

Figura 9.47: Llista i diferents mostres de fitxes d'espècies

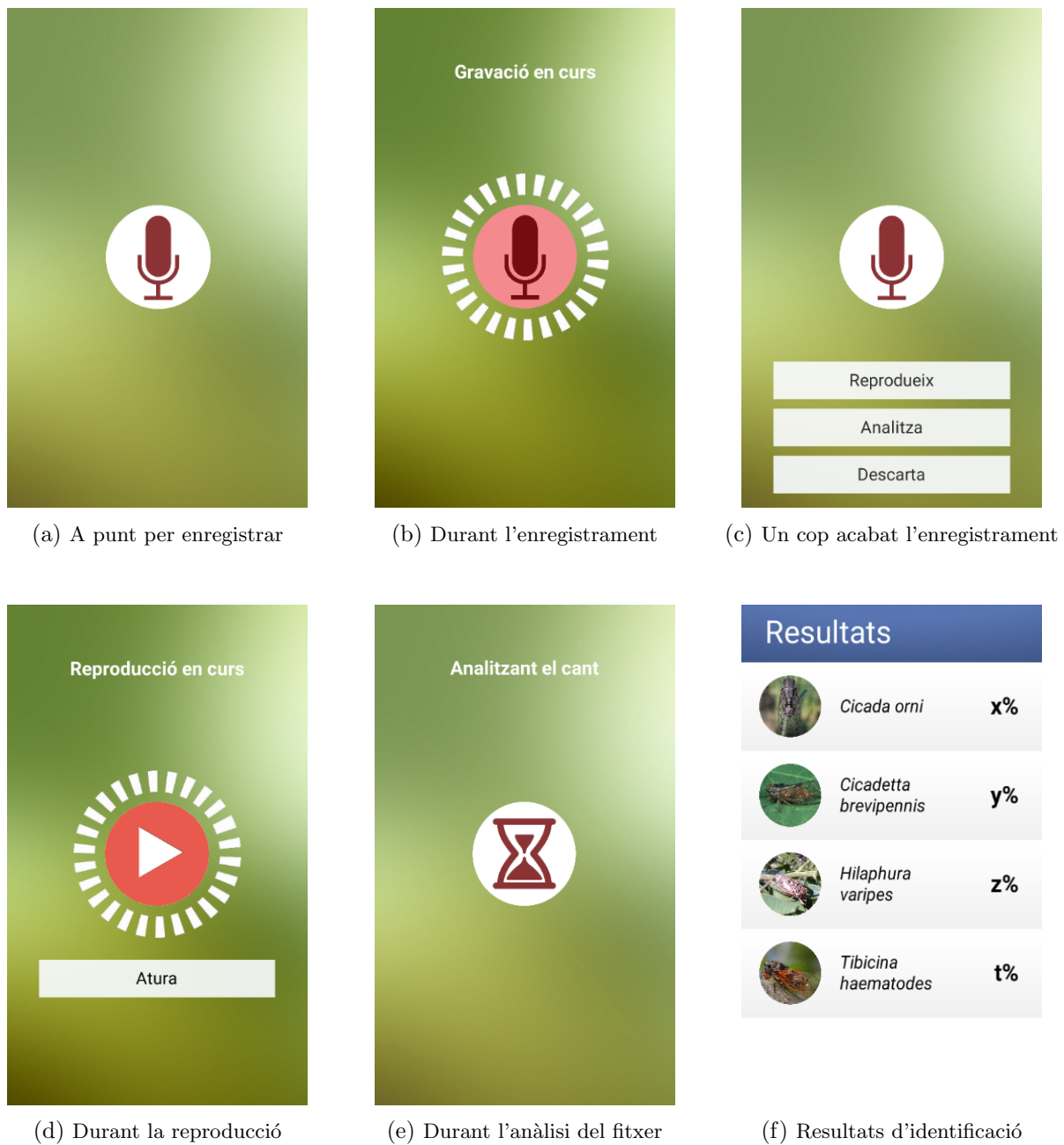


Figura 9.48: Imatges corresponents a les pantalles d'enregistrament d'un fitxer de so i de resultats

En clicar el segon botó de la pantalla principal, el que diu “Inicia una gravació”, el primer que fa l'aplicació és comprovar que l'usuari hagi llegit les instruccions d'ús de l'aplicació. Si no és el cas, es mostra la pantalla d'instruccions; altrament, l'usuari pot procedir directament a gravar un cant per analitzar-lo. Un cop feta la comprovació i mostrades les instruccions si encara no havien estat llegides, s'obre la pantalla que es pot observar a la Figura 9.48, mostrant el que apareix a la imatge **a** de la figura. En clicar el micròfon amb fons blanc, s'inicia l'enregistrament, amb la qual cosa la pantalla passa a mostrar el que es veu a la imatge **b**, amb el text de “Gravació en curs” parpallejant i la roda blanca del voltant del micròfon girant, animació que es manté fins que s'acabi

l'enregistrament amb l'objectiu de deixar clar que l'operació s'està duent a terme. Quan l'usuari clica la icona del micròfon de nou per aturar la gravació, la pantalla mostrada passa a ser la de la imatge **c**, la qual permet reproduir el so enregistrat, analitzar-lo o bé descartar-lo. Si s'escull l'opció de reproduir-lo, es mostrarà la pantalla corresponent a la imatge **d** fins que s'hagi reproduït la gravació sencera o bé l'usuari hagi aturat la reproducció. Si, havent sentit l'enregistrament, es considera que el cant no se sent prou nítidament o bé li falta potència, es pot descartar el fitxer i gravar-ne un altre. Si, per contra, es considera que la qualitat de la gravació és bona, es pot seleccionar l'opció d'analitzar, la qual canvia la pantalla a la que es veu a la imatge **e**, amb el text parpallejant, fins que s'hagi obtingut els resultats d'identificació. Un cop finalitzat el procés, en cas que s'hagi trobat coincidències amb una o més espècies, s'obre la pantalla de resultats, la de la imatge **f**, on es mostra els nivells de semblança amb cada una d'aquestes espècies. La pantalla de resultats permet accedir directament a la fitxa de les espècies mostrades simplement clicant-hi a sobre, amb l'objectiu que l'usuari pugui comprovar, a partir de la fenologia, l'hàbitat o el lloc des d'on canta l'espècie, la factibilitat del resultat de la identificació.

Quant al tercer botó de la pantalla principal, el que fa és obrir l'explorador de fitxers per poder seleccionar un fitxer de so per analitzar. Aquesta opció permet identificar cants de cigala que ja estiguessin enregistrats amb anterioritat, inclosos els que s'hagi gravat prèviament mitjançant la pròpia aplicació. La carpeta que obre l'explorador de fitxers és l'última des d'on s'ha analitzat un fitxer o, en cas que encara no se n'hagi analitzat cap, el directori base de la targeta SD del dispositiu. Un cop a l'explorador de fitxers, es pot navegar a la carpeta que es vulgui i seleccionar qualsevol fitxer .wav per analitzar-lo (els enregistraments de l'aplicació també es desen en aquest format). Quan se selecciona el fitxer que es vol analitzar, s'obre la pantalla de l'enregistrador d'àudio tal com es veu a la imatge **e** de la Figura 9.48. Aquesta pantalla es manté fins que s'hagi obtingut els resultats d'identificació, moment en què es mostra la pantalla de resultats amb els coeficients de semblança trobats. La interfície d'usuari de l'explorador de fitxers és la que mostra la Figura 9.49.

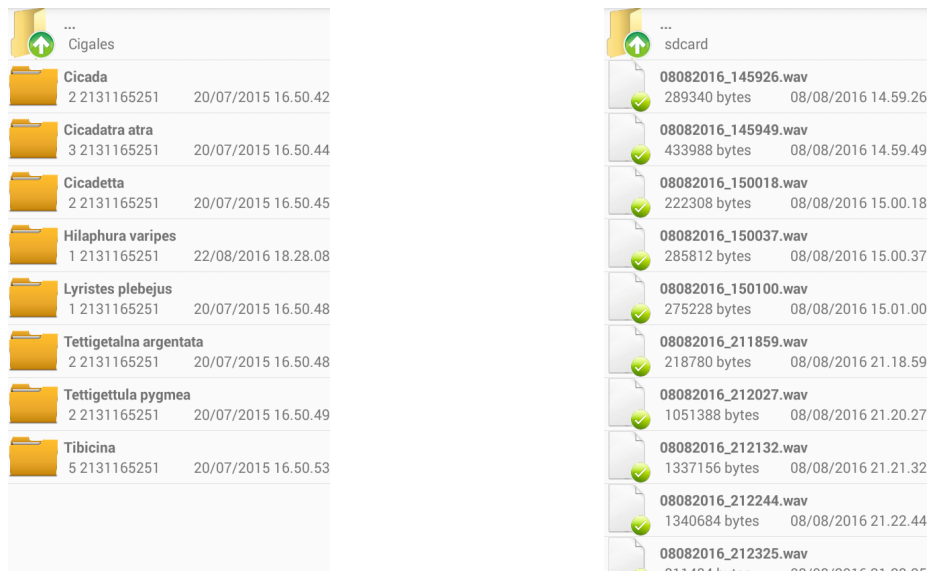


Figura 9.49: Imatges de l'explorador de fitxers de l'aplicació

Capítol 10

Conclusions

Un cop acabat el projecte, toca avaluar si s'ha assolit els objectius proposats abans d'iniciar la comesa. En aquest cas, però, no es pot definir el grau d'assoliment de manera binària, ja que aquest depèn del nivell d'encert aconseguit als resultats d'identificació de l'aplicació. Avaluant de manera general aquests resultats, la valoració que se'n fa és molt positiva, atès que el grau de correctesa que presenten és prou elevat perquè l'aplicació pugui ser útil al camp, sobretot en el cas de les espècies de difícil identificació auditiva.

Tal com s'esmenta al final del capítol 9, la fiabilitat de l'aplicació és clarament superior a la que s'esperava en un inici, quan ni tan sols se sabia amb seguretat si la identificació automàtica de cigales era una idea factible. Val a dir, però, que tampoc es comptava amb el fet que alguns enregistradors filtrin les freqüències més altes del so enregistat ni amb el problema que suposa l'habitual manca de potència dels cants que s'ha d'analitzar, factors que han esdevingut els dos principals esculls per a la identificació. De fet, contràriament al que es preveia al principi, la major dificultat del treball no ha recaigut en la implementació de la identificació automàtica de les espècies en si, sinó en la minimització de l'impacte que aquests i altres factors aliens al cant però habitualment presents als enregistraments tenen en els resultats. També és cert que, a part d'aquests impediments, al llarg del desenvolupament de l'aplicació han anat sorgint més entrebancs dels que s'havia previst, la qual cosa ha comportat, juntament amb el fet que la dedicació al treball fos a temps parcial, que aquest s'hagi acabat allargant fins als set mesos.

D'altra banda, pel que fa al desenvolupament de l'aplicació per a Android en si, no es considerava que pogués suposar cap dificultat important, sinó que simplement requeriria un cert nombre d'hores de programació sense presentar més problemes. Tot i això, el fet d'incorporar el codi corresponent a la identificació implementat en Java a l'aplicació d'Android ha comportat múltiples complicacions, com ara el fet d'haver d'implementar personalment el codi d'algunes llibreries de Java que no són compatibles amb Android. De fet, en el moment d'entregar el treball, l'aplicació mòbil encara presenta un problema important: malgrat utilitzar exactament el mateix codi i compilar amb la mateixa versió de Java que l'aplicació per a escriptori, en una proporció important de fitxers els resultats d'identificació obtinguts no són els mateixos. A més, en tots els casos en què s'ha detectat diferències, l'anàlisi duta a terme des de l'aplicació mòbil és menys precisa i proporciona un menor nivell de correctesa als resultats d'identificació que la mateixa anàlisi executada des d'un ordinador. Resta pendent localitzar l'origen del problema i actualitzar l'aplicació havent-lo corregit.

Capítol 11

Treball futur

L'aplicació desenvolupada, d'acord amb l'objectiu inicial del treball, es donarà per tancada de manera satisfactòria un cop s'hagi aplicat la correcció pendent que s'esmenta al final del capítol 10. No hi ha intenció, doncs, per part de l'autor, de continuar treballant en desenvolupaments de noves funcionalitats de l'aplicació ni en millores de les ja existents.

D'altra banda, l'aplicació resta oberta a qualsevol modificació futura per part d'altres desenvolupadors, ja sigui amb l'objectiu de perfeccionar els resultats d'identificació obtinguts, d'incorporar-hi noves espècies perquè l'aplicació pugui ser útil en altres territoris, de traduir-la a altres idiomes... És per això que s'ha decidit distribuir l'aplicació sota una llicència *General Public License* de GNU, amb la qual cosa serà programari de codi obert i podrà ser accedida i modificada per part de qualsevol desenvolupador amb les úniques condicions d'esment a l'autoria de l'obra original i de distribució de qualsevol obra derivada o que la incorpori sota una versió equivalent o superior de la mateixa llicència GPL.

Capítol 12

Bibliografia

Per al desenvolupament d'aquest projecte s'ha consultat informació relativa als diferents àmbits que inclou el treball, des de les operacions de processament de so que s'ha utilitzat a les característiques conegudes dels cants d'algunes de les espècies de cigala tractades. A continuació es llista els principals articles i estudis dels quals s'ha obtingut informació útil per al desenvolupament de l'aplicació:

- **Puissant, S. (2006).** Contribution à la connaissance des cigales de France: Géonémie et écologie des populations (Hemiptera, Cicadidae)
- **Sueur, J. & Aubin, T. (2003).** Specificity of cicada calling songs in the genus Tibicina (Hemiptera, Cicadidae)
- **Sueur, J. & Aubin, T. (2004).** Acoustic signals in cicada courtship behaviour (order Hemiptera, genus Tibicina)
- **Puissant, S. & Boulard, M. (2000).** Cicadetta cerdaniensis, espèce jumelle de Cicadetta Montana décryptée par l'acoustique
- **Sueur, J. *et al* (2004).** Cicadas from Portugal: Revised list of species with eco-ethological data (Hemiptera Cicadidae)
- **Puissant, S. (2005).** Taxonomy, distribution and first eco-ethological data of *Melampsalta varipes* (Walt, 1837), an unrecognized cicada (Hemiptera, Cicadidae)
- **Observatoire Naturaliste des Ecosystèmes Méditerranéens (2010).** Clé illustrée des cigales de France continentale I. Les imagos

Capítol 13

Agraïments

Amb l'objectiu d'aconseguir el màxim nombre de gravacions possible de cada espècie de cigala, es va contactar amb diversos cigalòlegs europeus per demanar-los-en, la pràctica totalitat dels quals no va accedir a col·laborar amb el projecte. És per això que es vol destacar l'agraïment de l'autor als que van mostrar-se disposats a contribuir-hi desinteressadament mitjançant el proveïment d'enregistraments de cants d'algunes de les espècies de cigala tractades: Thomas Hertach (suís) i Tomi Trilar (eslovè), més el biòleg català Pere Pons. També s'agraeix la cessió voluntària de les fotografies de cigala incloses a l'aplicació als seus respectius autors, així com el disseny del logotip de l'aplicació, també de forma voluntària, per part de Gerard Funosas.