



# Optimització –per mitjà d’algoritmes genètics- de la projecció de grafs en dues dimensions

**Carlos Larrosa Garreta**

Màster en enginyeria informàtica

Àrea de treball final: Intel·ligència artificial avançada

**Samir Kanaan**

**Carles Ventura Royo**

31 de març de 2017



Aquesta obra està subjecta a una llicència de [Reconeixement-NoComercial-SenseObraDerivada 3.0 Espanya de Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/)

## FITXA DEL TREBALL FINAL

<b>Títol del treball:</b>	<i>Optimització –per mitjà d’algoritmes genètics- de la projecció de grafs en dues dimensions</i>
<b>Nom de l’autor:</b>	<i>Carlos Larrosa Garreta</i>
<b>Nom del consultor/a:</b>	<i>Samir Kanaan Izquierdo</i>
<b>Nom del PRA:</b>	<i>Carles Ventura Royo</i>
<b>Data de lliurament (mm/aaaa):</b>	<i>05/2017</i>
<b>Titulació o programa:</b>	<i>Màster en enginyeria informàtica</i>
<b>Àrea del Treball Final:</b>	<i>Intel·ligència artificial avançada</i>
<b>Idioma del treball:</b>	<i>Català</i>
<b>Paraules clau</b>	<i>Grafs, optimització, GAs</i>
<b>Resum del Treball:</b>	
<p>La projecció de grafs és una disciplina complexa que s’aplica en àmbits molt diversos. La qualitat d’una projecció és pot mesurar quantitativament en funció d’unes determinades convencions gràfiques però també influeixen el context, el propòsit i, en certa manera, un component subjectiu, el que fa que no hi hagi un procés vàlid i universal per a la generar una projecció d’un graf determinat.</p> <p>El treball procura afrontar aquest repte considerant totes les vessants des de les que es pot avaluar la bondat d’una projecció. Així, el objectiu principal ha estat el de desenvolupar un sistema que, donat un graf d’entrada, sigui capaç de generar una projecció òptima (suficientment bona) del graf en dues dimensions. L’adequació al context de la projecció es realitza per mitjà de parametrizacions del sistema.</p> <p>Destacar que els processos d’optimització usats en el sistema estan basats en algoritmes genètics, que usats de manera precisa i ad-hoc han resultat un factor d’èxit clau del projecte. La combinació entre l’àmbit de les projeccions i de la genètica és un dels punts que ha resultat més interessant del treball.</p> <p>Un cop executat el treball, es verifica que el objectiu s’ha assolit satisfactòriament perquè, tot i haver algunes línies de millora, es disposa d’un sistema que obté projeccions molt similars (gairebé indistingibles) de les que es poden obtenir amb sistemes existents de propòsit similar i, a diferència d’altres sistemes, permet configurar característiques tan de la projecció com dels processos d’optimització.</p>	

# Índex

1. Introducció.....	1
1.1 Context i justificació del Treball .....	1
1.2 Objectius del Treball.....	1
1.3 Abast del Treball .....	2
1.4 Enfocament i mètode seguit.....	2
1.5 Planificació del Treball.....	3
1.5.1 <i>Sobre el meu temps i coneixements</i> .....	3
1.5.2 <i>Identificació de tasques</i> .....	3
1.5.3 <i>Calendari</i> .....	5
2. Definició del problema .....	7
2.1 Context del problema .....	7
2.2 Definició acotada del problema a resoldre .....	7
3. Anàlisi inicial.....	10
3.1 Anàlisi, comparativa i elecció de tecnologia .....	10
3.2 Visió general de la solució.....	11
3.3 Funcionalitats del sistema .....	12
3.3.1 <i>Flux de processos</i> .....	12
3.4 Primeres proves inicials.....	12
4. Disseny del sistema .....	16
4.1 Mòduls i funcionalitats del sistema .....	16
4.2 Estructura del sistema .....	17
4.3 Projecció de grafs.....	18
4.4 Processos d'optimització amb algorismes genètics .....	19
5. Desenvolupament del sistema .....	22
5.1 Consideracions de la fase de desenvolupament.....	22
5.2 Producte obtingut .....	23
6. Anàlisi de resultats .....	32
6.1 Anàlisi qualitatiu dels resultats .....	32
6.2 Comparativa amb projeccions aleatòries.....	33
6.3 Comparativa amb projeccions en sistemes de propòsit similar .....	35
6.4 Conclusions generals dels resultats obtinguts.....	37
7. Conclusions.....	40
7.1 Conclusions generals .....	40
7.2 Conclusions sobre la gestió i seguiment del projecte .....	40
7.4 Lliçons apreses .....	41
7.5 Punts de millora o línies d'investigació futura .....	41
8. Bibliografia.....	44

## Llista de figures

1 Calendari del projecte	5
2 Diagrama conceptual de la solució a alt nivell	11
3 Flux de processos del sistema	12
4 Representació de grafs variant el posicionament dels nodes	13
5 Revisió tasques d'optimització amb GAs (PAC4 de IAA)	14
6 Diagrama dels mòduls de l'aplicació	16
7 Diagrama conceptual de classes a alt nivell	17
8 Arquitectura del sistema de projecció	19
9 Estructura d'una solució (individu)	19
10 Interacció entre els mòduls del sistema	22
11 Menú de l'aplicació	24
12 Pantalla d'interacció amb la projecció	25
13 Opcions de visualització	26
14 Exportació a imatge	27
15 Desplaçament i Zoom	27
16 Funció d'avaluació de bondat d'una solució	29
17 Funció per a la normalització de valors	29
18 Exemple de configuració del procés d'optimització	30
19 Exemple de poblacions generades en un procés d'optimització	30

# 1. Introducció

## 1.1 Context i justificació del Treball

Soc un enginyer informàtic superior per la UPC que va finalitzar la carrera ara fa uns sis anys i amb un perfil professional molt orientat a la consultoria i gestió de projectes. En el decurs del Màster en Enginyeria Informàtica he tingut la oportunitat de conèixer (o redescobrir) altres àmbits, que tot i estar molt allunyats del meu dia a dia professional, em resulten molt interessants.

Entre aquests àmbits destaquen l'algorithmia i, sobretot, la Intel·ligència Artificial, que va ser l'assignatura que més em va agradar. Vaig trobar les pràctiques de l'assignatura molt enriquidores i interessants. Per aquest motiu tenia força decidit que el treball final el faria sobre aquesta matèria.

Un cop escollit el àmbit vaig estar parlant amb el consultor (Samir Kanaan) i indicant-li aquelles parts que més em van agradar (recomenadors i algoritmes genètics). Després de perfilar i debatre sobre vàries idees em va realitzar una proposta que em va convèncer des d'un bon principi: combinar la representació de grafs amb la optimització amb algoritmes genètics.

## 1.2 Objectius del Treball

L'objectiu del treball és desenvolupar una aplicació que -a partir d'un graf d'entrada- sigui capaç de generar una projecció en 2D dels seus nodes i arestes optimitzant la seva visualització i respectant les seves propietats originals. Els processos d'optimització utilitzats per l'aplicació estaran basats en algoritmes genètics.

En el marc d'aquest objectiu final hi ha un seguit d'objectius parcials que s'enumeren a continuació de més a menys prioritari:

- Implementar un sistema d'optimització basat en algoritmes genètics adequat al propòsit.
- Implementar un sistema per a la projecció de grafs i que permeti configurar les opcions de visualització d'aquestes projeccions.
- Permetre representar la projecció de grafs en un format estàndard compatible amb d'altres sistemes de propòsit similar.
- Analitzar quantitativa i qualitativament els resultats obtinguts i compararlos amb els d'altres sistemes existents.
- Implementar una interfície web que permeti la configuració de la optimització i la entrada de dades al sistema.

- Aprofundir en el coneixement en l'àmbit d'intel·ligència artificial i, especialment, en el camp de la optimització amb algoritmes genètics.
- Consolidar i integrar en el treball els coneixements adquirits en altres matèries del Màster en Enginyeria Informàtica, especialment en quan a gestió de projectes i a enginyeria del software.
- Aprendre l'ús del marc de treball tecnològic en el que es desenvoluparà el projecte.

### 1.3 Abast del Treball

El abast del treball és el següent:

- Anàlisi i disseny de la solució.
- Construcció de l'aplicació que, a partir d'un graf, generi un fitxer estàndard de sortida amb una definició òptima de la seva projecció.
- Construcció d'un sistema per a la representació de les projeccions generades.
- Proves unitàries i d'integració de l'aplicació.
- Anàlisi i comparativa de resultats.
- Conclusions i lliçons apreses.
- Redacció de la memòria del treball i de la resta de tasques requerides a les PACs.

### 1.4 Enfocament i mètode seguit

Per a abordar el treball s'han realitzat una descomposició en mòduls del projecte. Per cada mòdul s'han identificat les tasques necessàries per a aconseguir el objectiu del mateix i s'han establert les dependències entre elles. En base a aquesta informació, s'ha establert un calendari de projecte.

La execució del projecte es composava d'un conjunt de fites parcials (recollides en el calendari) que tenen per objectiu facilitar l'assoliment dels objectius globals. A més, a les tasques identificades se lis ha donat una orientació iterativa que ha permès poder anticipar desviacions i problemes perquè no s'han anat fent revisions parcials per a cada una d'elles.

Per altra banda, s'ha procurat paral·lelitzar aquelles tasques no dependents entre sí i de natura diferent per tal de poder optimitzar la productivitat en el temps dedicat a l'execució del treball. Per exemple, s'han combinat tasques de construcció amb tasques de redacció de la memòria per tal d'evitar períodes en els que únicament es realitzin esforços en un determinat àmbit, ja que això pot reduir la productivitat.

## 1.5 Planificació del Treball

### 1.5.1 Sobre el meu temps i coneixements

Des de sempre he tingut interès en el àmbit de la Intel·ligència Artificial. Durant els meus estudis d'enginyeria informàtica a la UPC vaig cursar l'assignatura de IA quedant molt satisfet en quan a contingut i aprenentatge de la matèria. Posteriorment, en la assignatura Intel·ligència artificial avançada continguda en el pla d'estudis del Màster en Enginyeria Informàtica de la UOC, també considero que vaig realitzar un aprenentatge que considero molt interessant i positiu.

Cal dir però, que el meu perfil professional està molt orientat a la gestió de projectes que queden molt allunyats del àmbit de la Intel·ligència Artificial i, per tan, els meus coneixements de la matèria són bastant limitats. A més també tinc poca pràctica i coneixement en àmbits de programació i en matèria de grafs, en la que únicament hi entrat durant els meus estudis universitaris i el treball

En resum, considero que per poder desenvolupar el treball de manera satisfactòria necessitaré reforçar conceptes o aprendre'n en les següents matèries:

- Conceptes d'algoritmes genètics d'optimització.
- Conceptes de grafs i formats estàndard de representació.
- Eines o plataformes per al desenvolupament del projecte.

En quan al meu temps, considero que podré dedicar el temps necessari que requereix el treball. El Treball Final de Màster té associada una càrrega lectiva de 12 crèdits ECTS, que es tradueixen en una estimació de 300 hores de treball. Considerant que hi ha disponibles 15 setmanes, cal dedicar-i unes 20 hores setmanals.

L'estimació de cost de les tasques del treball s'ha fet de manera que es puguin dur a terme amb una dedicació aproximada de 10 o 12 hores setmanals. Això permet dues coses: En primer lloc, tenir certa folgança en les tasques, la qual cosa és important perquè la estimació s'ha realitzat sense un coneixement profund del tema a desenvolupar i, en segon lloc, assegurar que en cas d'imprevistos que impedeixin acomplir la dedicació prevista s'assoliran els objectius principals del projecte. Altrament es realitzaran tasques de millora i refinament del sistema per a perfeccionar el resultat final.

### 1.5.2 Identificació de tasques

La següent taula mostra les tasques previstes per a l'execució del projecte.

Fase	Tasca	Descripció
Inicial	Elecció del tema del treball	
	Proposta inicial	-Definició d'objectius, abast i calendari del projecte.

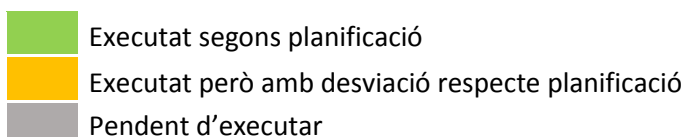
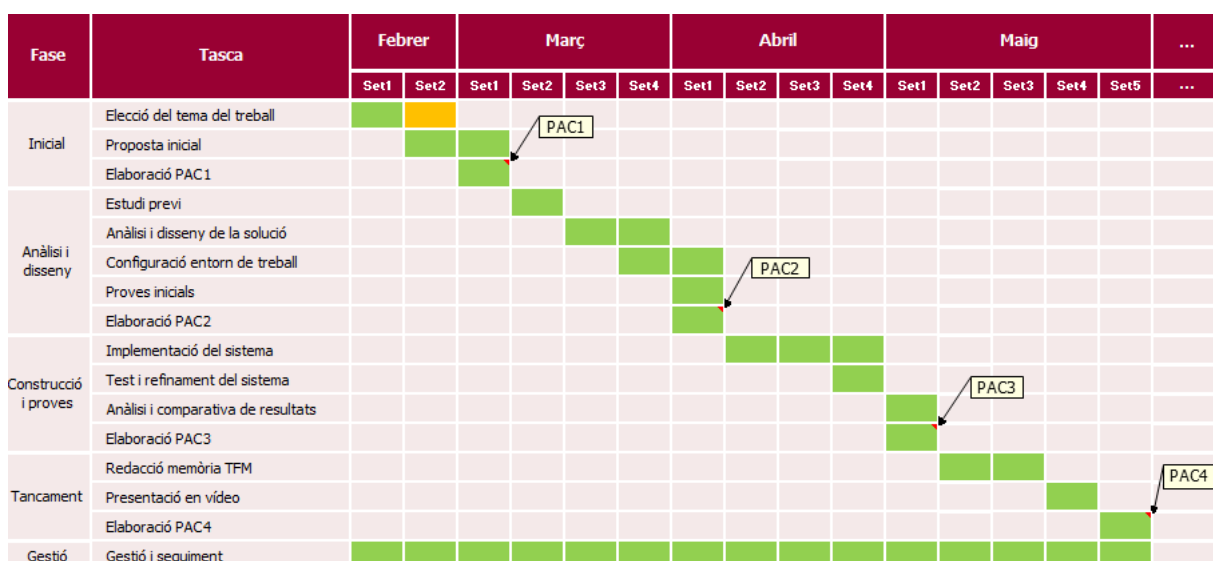


		-Anàlisi de mercat (solucions existents).
	Elaboració PAC1	-Estructura i redacció del document
Anàlisi i Disseny	Estudi previ	-Estudi conceptes grafs i GAs. -Elecció i aprenentatge inicial de la tecnologia a usar en el desenvolupament del projecte.
	Anàlisi i disseny de la solució	-Identificació dels requeriments del sistema. -Anàlisi funcional de la solució (definició de casos d'ús, funcionals ). -Disseny tècnic de la solució (solució tècnica i definició a alt nivell de les funcionalitats a implementar).
	Configuració del entorn de treball	-Instal·lacions plataformes. -Cerca de llibreries necessàries. -Proves bàsiques
	Proves inicials	-Aprenentatge de les eines. -Test inicials -Proves orientades a les necessitats del projecte.
	Elaboració PAC2	-Seguiment de la planificació inicial -Consolidació de la feina realitzada en el document.
Construcció i proves	Implementació del sistema	-Construcció nucli del sistema (Mòduls de l'aplicació, estructures de dades, interfície per l'entrada de dades,...). -Construcció del sistema de projecció de grafs -Construcció del sistema d'optimització basat en GAs.
	Test i refinament del sistema	-Proves unitàries del mòdul d'optimització -Configuració òptima del mòdul d'optimització. -Proves integrades de l'aplicació. -Adaptacions necessàries derivades del resultat de les proves.
	Anàlisi i comparativa de resultats	-Cerca de dades de prova i bateries de proves exhaustives. -Comparativa de resultats amb altres sistemes existents.
	Elaboració PAC3	-Seguiment de la planificació inicial -Elaboració de la versió inicial de la memòria a partir de la feina realitzada anteriorment.
Lliurament i tancament	Redacció memòria TFM	-Elaboració i refinament de la versió final de la memòria

	Presentació en vídeo TFM	-Preparar guió i estructura de la presentació. -Enregistrament de la presentació del treball.
	Elaboració PAC4	-Realitzar autoavaluació. -Contrastar objectius inicials amb objectius assolits. -Conclusions i lliçons apreses.

### 1.5.3 Calendari

A continuació es presenta el Diagrama de Gantt de les tasques que s'han detallat en el apartat anterior i amb una escala temporal a nivell de setmanes.



### 1 Calendari del projecte



## 2. Definició del problema

### 2.1 Context del problema

La representació gràfica (o projecció) de grafs ha estat objecte d'anàlisi durant força temps gràcies, principalment, a dos motius. En primer lloc, la projecció de grafs (especialment de grafs complexos) no és trivial i la valoració de les solucions (les projeccions dels grafs) contenen un component subjectiu que fan que no es tracti d'un procés únic i tancat. En segon lloc, la representació gràfica dels grafs juga un paper clau per a la seva comprensió en tots els àmbits de la vida real en els que són utilitzats.

Com a definició, entendrem que una bona projecció d'un graf és aquella que obté una representació gràfica dels seus nodes i arestes respectant les seves propietats i tendint al compliment de les convencions gràfiques que s'esmenten a continuació tan com sigui possible:

- Minimitzar el creuament d'arestes.
- Minimitzar la longitud de les arestes.
- Maximitzar la simetria en la representació.
- Adequar les proporcions de la representació.
- Minimitzar (o evitar) corbes en les arestes, propietats no unificades dels vèrtex, etc...

De fet, es tracta d'una disciplina emmarcada en el àmbit de les matemàtiques i la computació però amb components diferencials que fan bastant interessant el seu estudi

El projecte pretén, per tan, abordar un tema complex. Existeixen diverses eines que realitzen tasques similars però la diferència radica en que, d'una banda, el projecte proposa abordar-les fent servir mecanismes del àmbit de la intel·ligència artificial com, per exemple, la optimització de processos per mitjà d'algoritmes genètic i, d'altra banda, que la sortida i representació del graf no estigui vinculada a la pròpia eina que la genera i, per tant, es pugui visualitzar en qualsevol altre sistema.

### 2.2 Definició acotada del problema a resoldre

El problema que pretén resoldre el treball és el de representar grafs de manera òptima en base a les convencions gràfiques existents respecte a la representació de grafs. Es pretén, a més, que els processos d'optimització es basin en algoritmes genètics.

Així, el repte és construir un sistema que sigui capaç de, a partir d'un graf d'entrada, generar una projecció en dues dimensions òptima i usant processos d'optimització basats en algoritmes genètics.

Aquest objectiu final requereix tasques d'anàlisi, disseny i construcció en diferents disciplines com son el tractament i representació de grafs i els processos d'optimització basats en algorismes genètics. En concret, dins de cada disciplina, el problema requereix abordar els següents aspectes.

- Grafs
  - Definició d'estructures (de la solució).
  - Funcionalitats per al tractament i manipulació de grafs.
  - Sistemes per a la projecció gràfica en 2D.
  - Generació de fitxers estàndards de sortida amb el posicionament fixat.
  
- Optimització
  - Adaptar el problema a les necessitats de la optimització per mitjà de grafs.
  - Funcionalitats per l'avaluació dels convencions gràfiques de la representació de grafs.
  - Definició d'una funció objectiu en base a les funcionalitats del punt anterior.
  - Permetre parametritzacions en la qualitat requerida i la prioritació de les convencions gràfiques.



## 3. Anàlisi inicial

### 3.1 Anàlisi, comparativa i elecció de tecnologia

La següent taula mostra les decisions d'elecció tecnològica que s'han pres per al desenvolupament del projecte. Els motius de l'elecció que es presenten combinen aspectes tècnics amb d'altres subjectius i d'interès personal, però tota justificació està emmarcada i alineada amb els objectius del projecte. És a dir, s'han obviat característiques que no siguin significatives per al propòsit del treball

Tecnologia	Elecció	Motiu de l'elecció
Llenguatge de programació	Python v2.7	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Adequació i compatibilitat amb processos d'optimització amb GAs.</li> <li>-Experiència en l'ús de llibreries de GAs (en l'assignatura de IA).</li> <li>-Facilitat d'ús respecte altres alternatives.</li> <li>-Oportunitat d'aprendre un llenguatge que no conec en profunditat.</li> <li>-Suport potent al tractament i representació de grafs.</li> <li>-Existència d'algoritmes de propòsit similar al del treball i amb els que poder comparar resultats.</li> </ul>
Marc de treball	Anaconda-Spyder	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Marc de treball acceptat i amb una àmplia comunitat d'usuaris.</li> <li>-Facilitat per la instal·lació de paquets.</li> <li>-OpenSource</li> <li>-Plugin de Qt per al disseny de la interfície gràfica.</li> <li>-Opcions de debugació senzilles.</li> <li>-Editor de text integrat amigable.</li> </ul>
Llibreries GAs	Pyevolve	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Experiència adquirida en l'assignatura de Intel·ligència Artificial Avançada del MEI.</li> </ul>
Llibreria per al tractament de Grafs	Networkx	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Multiplataforma</li> <li>-Disponibilitat de gran número d'exemples.</li> <li>-Generadors de grafs (clàssics/coneguts i aleatoris)</li> <li>-Compatibilitat amb llibreries de representació de grafs.</li> <li>-OpenSource</li> </ul>
Llibreria per a la projecció de Grafs	-Cairo -matplotlib	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Estàndard de facto per a la representació de grafs amb Python.</li> <li>-Compatibilitat amb la resta de tecnologia seleccionada.</li> <li>-OpenSource</li> <li>-Facilitat d'ús i bona documentació al abast.</li> <li>-Gran quantitat d'exemples i àmplia comunitat d'usuaris.</li> <li>-Possibilitats de representació 2D i 3D.</li> </ul>

La taula anterior mostra la tecnologia seleccionada per al projecte, però s'han avaluat d'altres opcions que, finalment, han quedat descartades per considerar-se menys adequades al propòsit del treball. A tall d'exemple, s'ha descartat JAVA com a llenguatge de programació principalment per la voluntat d'aprofundir en els coneixements d'un nou llenguatge (Python) i per considerar-se aquest més que suficient per al desenvolupament de les tasques del treball. Per al marc de treball també s'han estudiat altres opcions (WinPython) però finalment, després de provar ambdues, es va considerar més pràctica i senzilla l'elecció realitzada (Anaconda-Spyder).

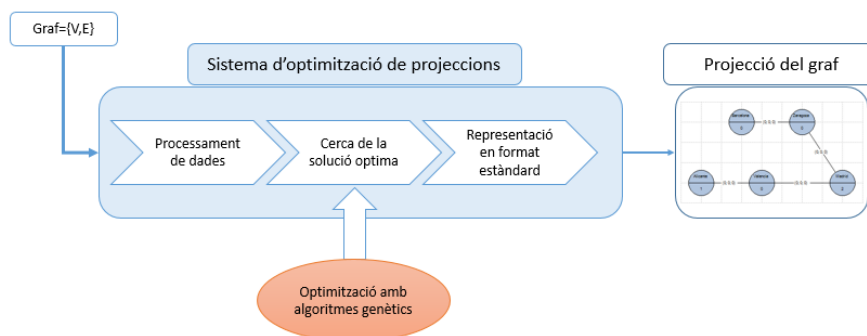
Però el punt que ha requerit un major grau d'anàlisi ha estat el revisar quina llibreria de grafs fer servir. En aquest sentit havia dos opcions que s'han testejat i eren igualment vàlides:

- iNodes: es descarta perquè disposa d'algoritmes per a la projecció de grafs amb els que es desitja comparar els resultats obtinguts del treball i, d'aquesta manera, no s'estableixen vincles per tractar els grafs d'igual manera.
- GraphTool: És una bona solució i que, a més, facilita molt establir el posicionament dels nodes per les projeccions, però es descarta per la incompatibilitat amb Windows, ja que es desitja desenvolupar el treball en aquest Sistema Operatiu i, d'aquesta manera, no caldrà usar emuladors ni màquines virtuals únicament per a poder fer servir aquesta llibreria.

### 3.2 Visió general de la solució

Donat un graf d'entrada el sistema a construir serà capaç d'interpretar-lo i generar una solució òptima per a la seva projecció. La cerca de la solució òptima es realitzarà mitjançant algoritmes genètics i en base a uns criteris preestablerts per configuració i que determinaran quan es considera una solució òptima (o millor dit, bona o adequada).

L'aplicació generarà com a sortida la representació d'aquesta solució o bé a través d'un fitxer estàndard de representació de grafs (format GraphML que permet especificar posicions dels nodes) o través de la pròpia representació gràfica fent ús de llibreries adequades a tal finalitat.



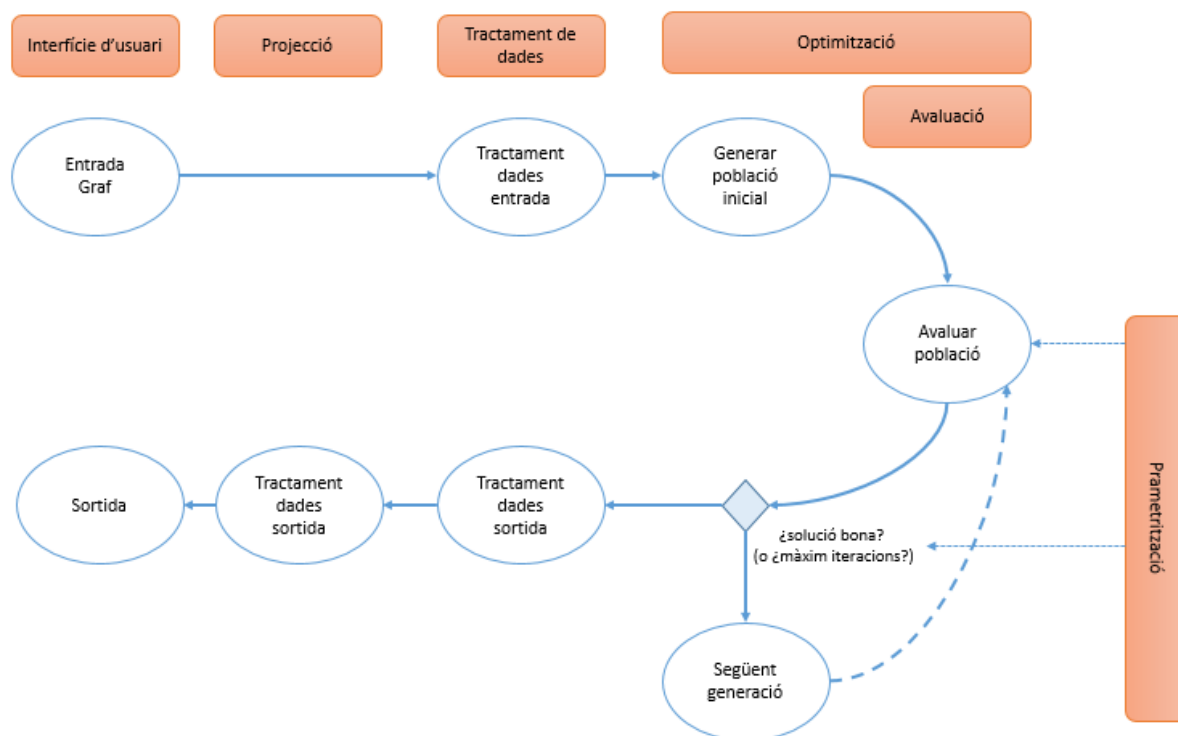
2 Diagrama conceptual de la solució a alt nivell



### 3.3 Funcionalitats del sistema

#### 3.3.1. Flux de processos

A continuació es presenta el diagrama de flux dels processos del sistema. En blau apareixen els processos i en vermell, alineats verticalment, els mòduls en els que s'emmarcaran cada un d'ells.



3 Flux de processos del sistema

### 3.4 Primeres proves inicials

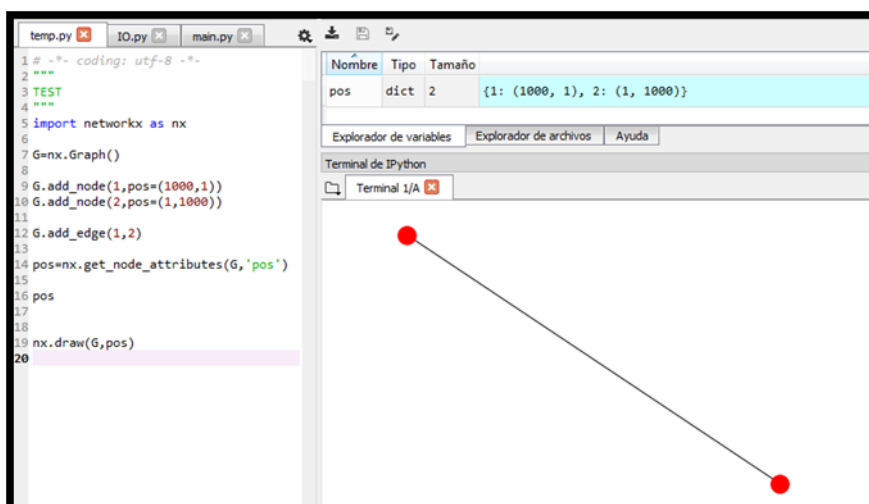
S'ha configurat el entorn de treball i s'han realitzat les primeres proves inicials per comprovar que tot està correctament instal·lat i operatiu. Els test inicials han anat encaminats a validar, d'una banda, el correcte funcionament del entorn de treball (proves bàsiques d'entrada i sortida i d'escriptura de fitxers) i, d'altra banda, les llibreries que s'hauran de fer servir en el desenvolupament del projecte.

Així, els test inicials han validat els següents aspectes:

- Marc de treball (Spyder y Python 2.7)
  - o Proves bàsiques d'entrada i sortida.
  - o Escriptura i lectura de fitxers.
  - o Creació de classes i crides a funcions.

- Llibreries per al tractament de grafs.
  - o Generació de grafs i ús de les funcions principals per al tractament.
  - o Proves per a posicionar els nodes d'un graf en un espai 2D.
  - o Projeccions dels posicionaments.
  - o Proves d'altres sistemes existents (iNodes).
  
- Llibreries per a la optimització mitjançant algoritmes genètics.
  - o Proves bàsiques amb la llibreria.
  - o Repàs de les tasques realitzades en la PAC4 d'Intel·ligència Artificial Avançada.

A continuació es mostren algunes imatges d'algunes d'aquestes proves inicials realitzades



4 Representació de grafs variant el posicionament dels nodes

```

"""
@author: Carlos Larrosa
@Descripció: PAC4- Optimització
"""

from pyevolve import GSimpleGA
from pyevolve import G1DList
from pyevolve import Selectors
from pyevolve import Initializers, Mutators
import random
from pyevolve import Crossovers

packages = [20, 40, 25, 10, 30, 45, 80, 120, 110, 70, 85, 35, 60, 100,

def eval_func(ind):
    score = 0.0
    charge=[0,0,0,0,0]
    currentPacket=0
    for i in range(len(packages)):
        if charge[currentPacket] + ind[i] <= 200:
            charge[currentPacket]+= ind[i]
        elif currentPacket !=4:
            currentPacket+=1
            charge[currentPacket]+= ind[i]

    score=charge[0]+charge[1]+charge[2]+charge[3]+charge[4]
    return score

def nonRepeatInitializer(genome, **args):
    genome.clearList()
    random.shuffle(packages)
    [genome.append(i) for i in packages]

```

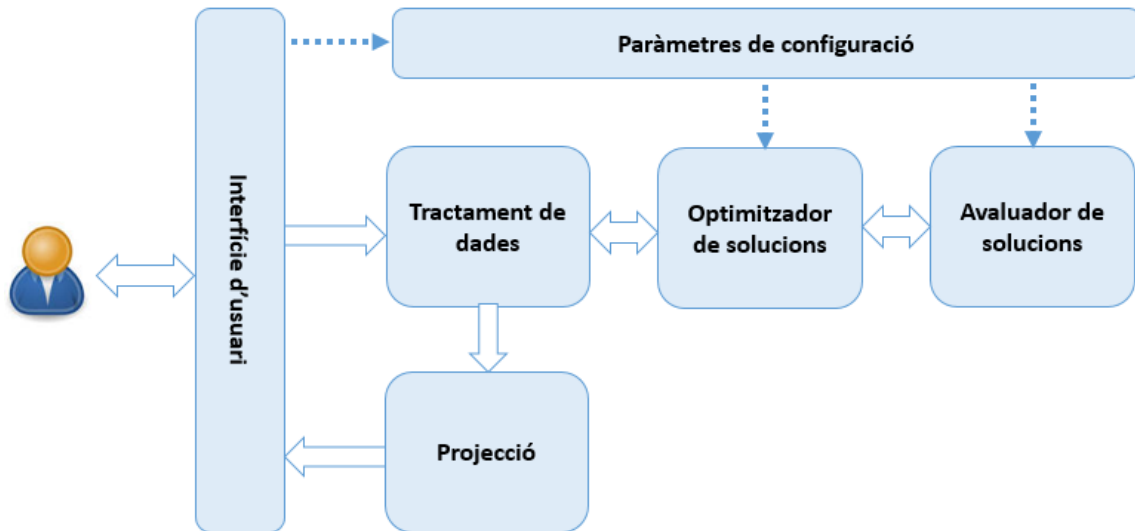
#### 5 Revisió tasques d'optimització amb GAs (PAC4 de IAA)



## 4. Disseny del sistema

### 4.1 Mòduls i funcionalitats del sistema

El següent diagrama identifica els diferents mòduls del sistema i les seves interaccions.



6 Diagrama dels mòduls de l'aplicació

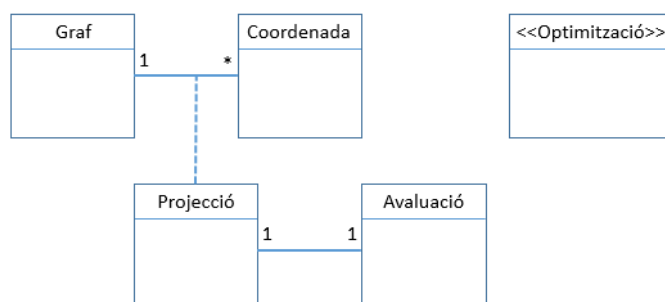
A continuació s'especifica el objectiu de cada un dels mòduls

- **Interfície d'usuari:** s'encarrega de la interacció amb l'usuari tan per l'entrada al sistema (per les dades d'entrada i per les configuracions) com per les sortides (visualitzar i/o obtenir les projeccions optimitzades).
- **Tractament de dades:** S'encarrega de tractar les dades d'entrada i generar les estructures de dades que requereix el sistema i també de facilitar al mòdul de projecció les dades en el format que aquest requereix per a la seva representació.
- **Optimitzador de solucions:** És el mòdul encarregat d'executar els processos d'optimització basats en algorismes genètics.
- **Avaluador de solucions:** És el mòdul que s'encarrega d'avaluar les solucions en base a un conjunt de paràmetres preestablerts i configurables.
- **Paràmetres de configuració:** Aquest mòdul permet ajustar els paràmetres del sistema com ara el nivell d'optimització requerit (qualitat de la solució) o la prioritització d'algunes característiques de la projecció de grafs davant d'altres.

- **Projecció:** s'encarrega de la projecció gràfica de la solució òptima trobada per el mòdul optimitzador.

## 4.2 Estructura del sistema

L'estructura de l'aplicació es basarà en la orientació a objectes. A continuació es mostra el diagrama conceptual de classes i, en les taules de sota, es detalla el contingut de cada una d'elles.



7 Diagrama conceptual de classes a alt nivell

Projecció		
Descripció	Classe que representa una solució per a la projecció del Graf.	
Atributs	G: Graf	Graf (conjunt de nodes i arestes)
	Pos: L(Coord)	Llista de coordenades dels vèrtexs del graf.
Funcions	create(G):Individu	Constructor de la classe.
	project():	Projecta gràficament el Individu.
	generateGraphml():GraphML	Genera un fitxer GraphML amb la projecció del graf.
	getPos(): L(Coord)	Retorna el vector de posicions dels vèrtexs.
	getPos(int): Coord	Retorna la coordenada del vèrtex passat com a param.
	setPos(int, coord):	Fixa la posició del node indicat com a paràmetre.

Graf		
Descripció	Classe que representa un Graf.	
Atributs	Nodes: L(int)	Llistat de nodes.
	Edges: L(int, int)	Llistat d'arestes.
Funcions	-	Per al tractament de Grafs s'usaran les funcions que facilita la llibreria "NetworkX".

## Optimització

Descripció	Classe que representa la configuració d'un procés d'optimització.	
Atributs	Quality: int	Nivell de qualitat de la solució acceptat com a òptim.
	Size: int	Mida de la població.
	Iter: int	Nombre màxim d'iteracions del procés.
Funcions	-	Per als processos d'optimització es farà servir la llibreria pyevolve.

## Coordenada

Descripció	Classe que representa la posició (coordenada) dels nodes	
Atributs	x: int	Graf (conjunt de nodes i arestes)
	y: int	Llista de coordenades dels vèrtexs dels graf.
Funcions	create(G):Individu	Constructor de la classe.
	getX()	Retorna la coordenada X.
	getY()	Retorna la coordenada Y.

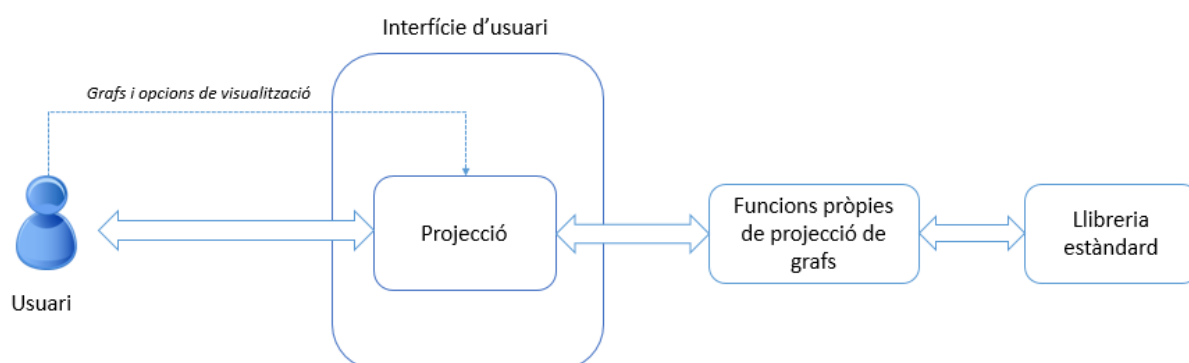
## Avaluació

Descripció	Classe que representa una configuració per l'avaluació dels individus.	
Atributs	weigth: L(int)	Llista d'enters que representen el pes en l'avaluació de cada una de les propietats de la projecció a avaluar (convencions gràfiques).
	Quality: int	
Funcions	Objectiu (Individu): int	Avalua la solució en funció dels valors del pes otorgat
	cross(Graf, pos): int	Calcula el nombre de creuaments d'arestes del graf.
	Dist( Graf, pos): int	Calcula la longitud total de les arestes de la projecció.
	Sym(Graf, pos): int	Calcula el grau de simetria de la projecció del graf
	Prop(Graf, pos): int	Calcula el grau de proporcionalitat de la projecció del graf.

### 4.3 Projecció de grafs

Per la projecció de grafs es farà una interfície que ofereix un conjunt de serveis de representació gràfica adequats a les necessitats del sistema. Aquesta interfície usa la llibreria estàndard gràfica i és usada per la pròpia interfície del usuari. A més, el mòdul de representació de grafs està incrustat en la pròpia interfície d'usuari i permet que aquest hi interactui.

El següent esquema mostra aquesta interacció entre totes les parts implicades en la projecció.



8 Arquitectura del sistema de projecció

#### 4.4 Processos d'optimització amb algoritmes genètics

##### 4.4.1 Estructura d'una solució (individu)

Una projecció del graf queda definida per la posició dels seus vèrtexs. Per tant, un individu es representarà com un llistat de coordenades que indicaran les posicions dels vèrtexs del graf.

V1 (x,y)	V2 (x,y)	...	VN (x,y)
-------------	-------------	-----	-------------

9 Estructura d'una solució (individu)

##### 4.4.2 Funció objectiu

La funció objectiu serà el resultat de combinar el grau de compliment de les convencions gràfiques d'una determinada solució (individu). En concret: creuament d'arestes, longitud de les arestes, simetria i proporcionalitat. Cada una d'aquestes propietats tindrà un pes determinat que es podrà fixar per configuració, resultant així la funció objectiu :

$Val = pNC*(NC) + pLA*(LA) + pSF*(SF) + pPR*(PR)$ , on

- Val: Valoració de la solució (valor a minimitzar en els processos d'optimització)
- NC: Nombre de creuament entre arestes del graf
- LA: Longitud de les arestes. Suma total de la longitud de les arestes del graf
- SF: Grau de simetria de les figures. Nombre de figures simètriques contingudes en el graf.
- PR: Grau de proporcionalitat (distribució en la quadrícula).
- pXX: pes de la propietat XX (importància de XX en la projecció).



L'objectiu dels processos d'optimització és el de minimitzar la funció objectiu.

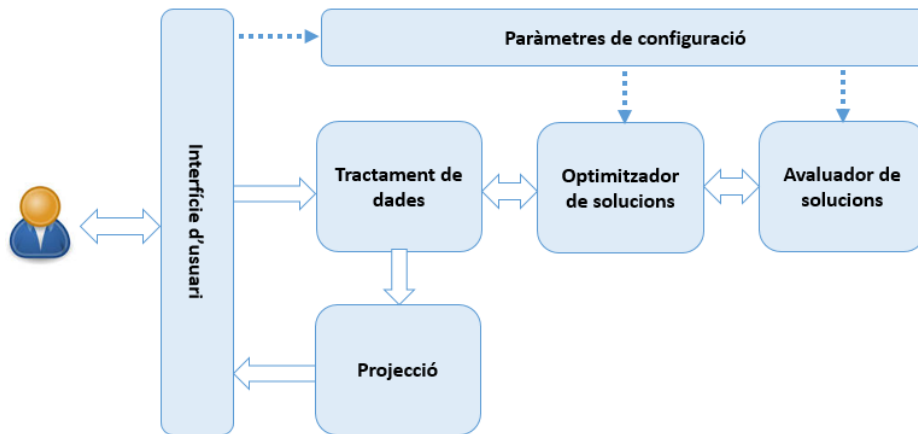


## 5. Desenvolupament del sistema

### 5.1 Consideracions de la fase de desenvolupament

S'ha construït el sistema seguint els dissenys i definicions establertes en la fase immediatament anterior del projecte (fase d'anàlisi i disseny). Tot i que no es del tot desitjable que en fase de desenvolupament apareguin canvis respecte al disseny original però, en aquest cas i donat el caire acadèmic del treball, s'han afegit algunes funcionalitats que durant el decurs del treball s'han considerat més assequibles del que es considerava inicialment (com per exemple, funcionalitats relacionades amb la visualització de grafs com zoom, pan, etc...) i se n'han reduït d'algunes altres més allunades del objectiu principal del projecte (com per exemple els estils de la interfície gràfica d'usuari).

Tot i aquests petits canvis de funcionalitats específiques i no troncal del sistema, s'han implementat els diferents mòduls i la integració entre ells. En concret el sistema implementat té la estructura de mòduls i relació entre aquests que es presenta a continuació:



10 Interacció entre els mòduls del sistema

Es considera rellevant destacar els següents aspectes de la fase de desenvolupament:

- La documentació trobada ha estat adequada però, en alguns casos, els exemples han estat insuficients. La elecció de les tecnologies i llibreries a utilitzar es va fer valorant la suficiència en quan a documentació i suport de comunitat d'usuaris. S'ha trobat però, que el treball és un àmbit molt particular que integra diverses disciplines i, per tant, no sempre ha estat fàcil trobar suport (o exemples) per a totes les necessitats sorgides. Un cas per exemple és el de la representació gràfica de grafs (per la que es fa servir una llibreria específica de grafs) integrats en la interfície gràfica d'usuari (per a la que es fa servir una altra llibreria)

- Dificultats derivades de les incompatibilitats de versions: El sistema requereix diverses integracions entre codi de diferent àmbit i suportat per diferents tecnologies (representació gràfica, algoritmes genètics, projeccions,...). Aquest fet ha causat problemes i limitat en part les possibilitats del sistema i, especialment, la seva escalabilitat. Per exemple, la llibreria pyevolve es recomanable fer-la servir amb una versió de Python força anterior a la que ja està àmpliament acceptada i estandarditzada per a altes propòsits (requerits per el treball) com al representació gràfica.

## 5.2 Producte obtingut

### 5.2.1 Interfície gràfica d'usuari

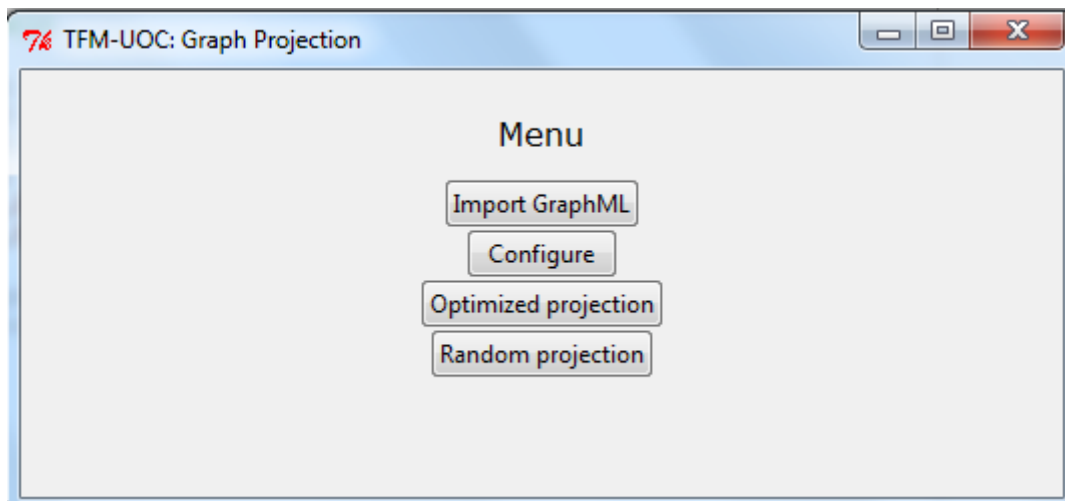
S'ha creat una aplicació senzilla i orientada al usuari en la que s'ha prioritzat la visualització de grafs (objectiu principal del projecte) enfront el disseny i estils de la interfície.

El menú principal de l'aplicatiu coordina l'accés a les diferents funcionalitats del sistema. En concret permet realitzar les següents accions:

Funcionalitat	Descripció
Importar fitxer	Permet seleccionar al usuari un arxiu (format estàndard GraphML) que es carregarà al sistema per tal de realitzar-ne les projeccions que es considerin a través de la resta de funcionalitats.
Projecció òptima	Genera una projecció optimitzada (per mitjà d'algoritmes genètics) del graf carregat al sistema.
Projecció aleatòria	Genera una projecció aleatòria (posició aleatòria dels nodes) del graf carregat al sistema.
Configuració	Permet ajustar els paràmetres del sistema (paràmetres d'optimització i pesos usats per la funció d'avaluació)

Nota: El sistema calcula inicialment ( i cada cop que es carrega un nou graf) les projeccions perquè, d'aquesta manera, la navegabilitat per l'aplicació és àgil. Altrament l'usuari hauria d'esperar-se un el temps de còmput previ a la projecció.

L'aspecte de la interfície gràfica d'usuari es mostra a continuació:



11 Menú de l'aplicació

### 5.2.2 *Projecció de grafs*

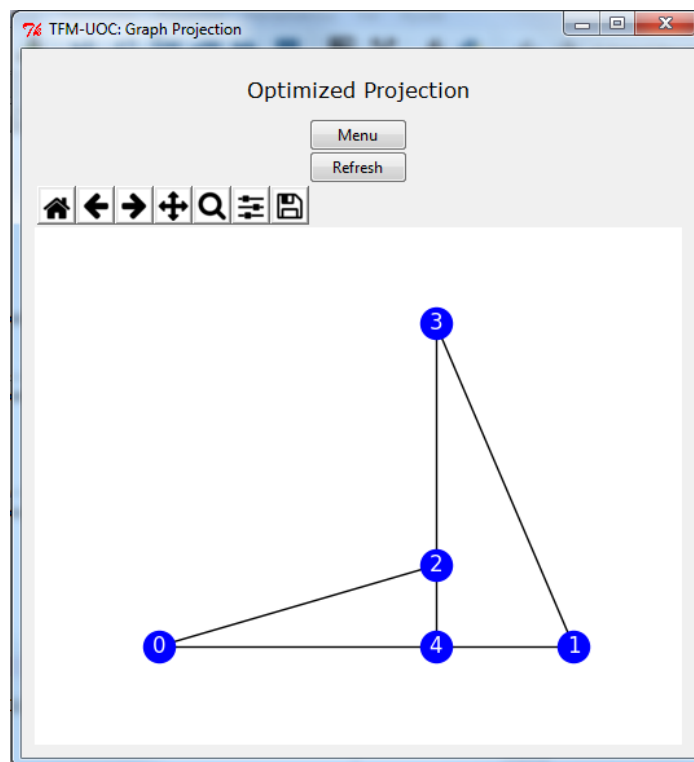
La projecció dels grafs té un paper clau en el sistema, ja que és el que serveix per poder analitzar visualment els resultats obtinguts en els processos d'optimització. Recordar que el anàlisi dels resultats té un component qualitatiu que requereix de la visualització, d'aquí la importància que se li ha donat a aquesta part del treball.

A continuació es detallen els diferents aspectes desenvolupats en relació a la projecció o visualització de grafs.

#### **Projecció de grafs en el sistema**

Per la projecció de grafs s'ha creat una interfície que ofereix un conjunt de serveis de representació gràfica adequats a les necessitats del sistema. Aquesta interfície usa la llibreria estàndard gràfica i és usada per la pròpia interfície del usuari. A més, el mòdul de representació de grafs està incrustat en la pròpia interfície d'usuari i permet que aquest hi interactuï.

La següent imatge mostra la pantalla de l'aplicació encarregada de, seguint el flux indicat anteriorment, renderitzar els grafs.



12 Pantalla d'interacció amb la projecció

### **Funcionalitats relacionades amb la projecció dels grafs**

El sistema permet a l'usuari interactuar i modificar la projecció de grafs gràcies a un conjunt d'eines que disposa i que té accessibles des del menú de visualització.

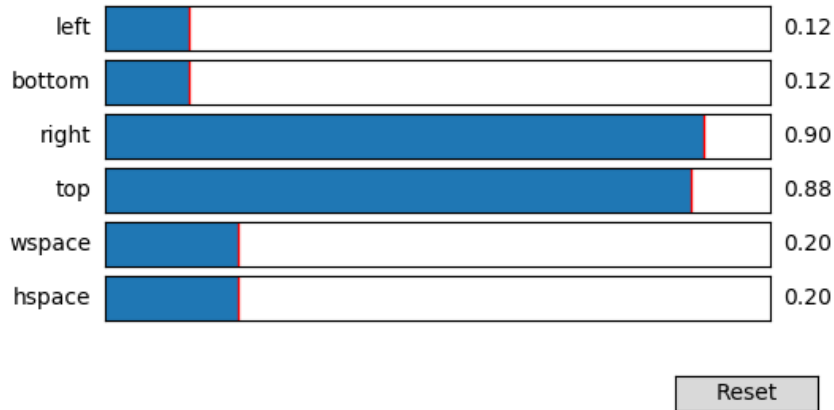


Icona	Funcionalitat	Descripció
	Menú principal	Retorna al menú principal de l'aplicació.
	Refrescar	Genera una nova projecció optimitzada del graf
	Inici	Genera la projecció inicial (paràmetres de visualització per defecte)
	Previ	Permet tornar a la projecció immediatament anterior.
	Proper	Permet tornar a la projecció immediatament posterior.
	Desplaçament	Permet desplaçar el graf dins de la finestra de projecció.
	Zoom	Permet ampliar alguna zona concreta del graf.
	Proporcionalitat	Permet ajustar els paràmetres de proporcionalitat.
	Desar imatge	Desa la projecció del graf en el format i ruta

		escollida.
--	--	------------

A continuació es mostra l'ús d'algunes d'aquestes característiques:

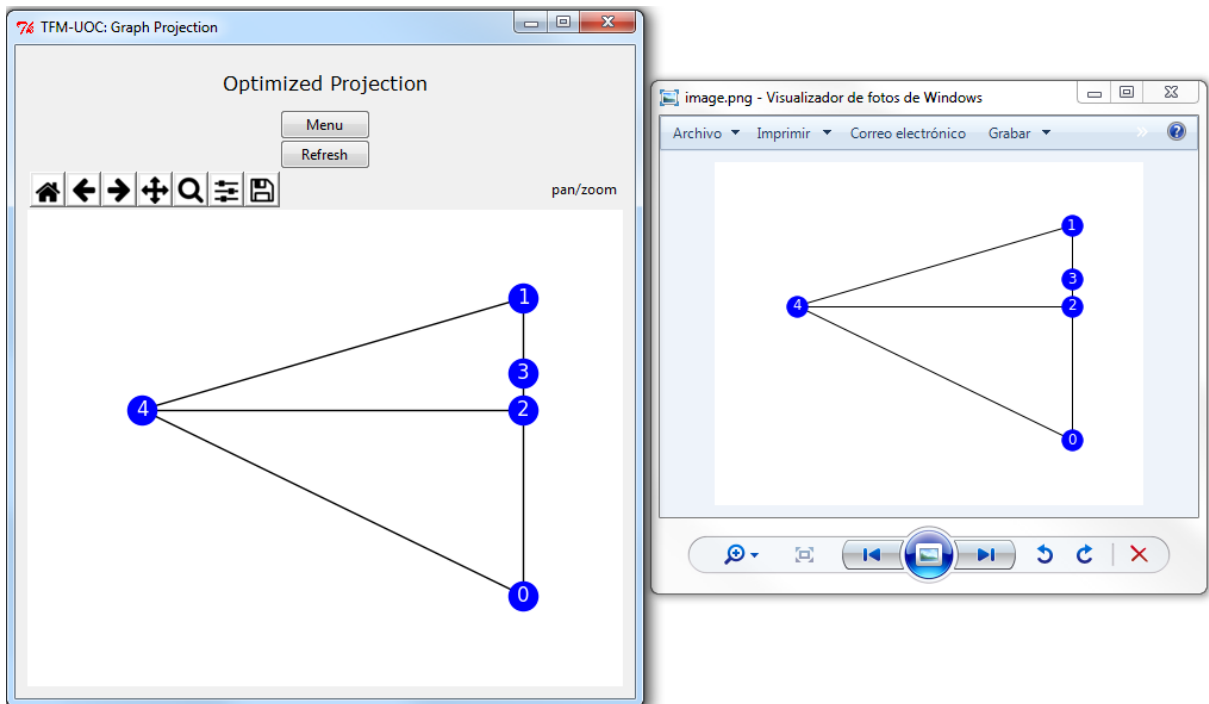
**-Ajustar proporcionalitat** de la projecció: Es permet al usuari ajustar els paràmetres relatius a la proporcionalitat i espai de la projecció respecte de la finestra de visualització. La figura següent mostra aquest panell.



13 Opcions de visualització

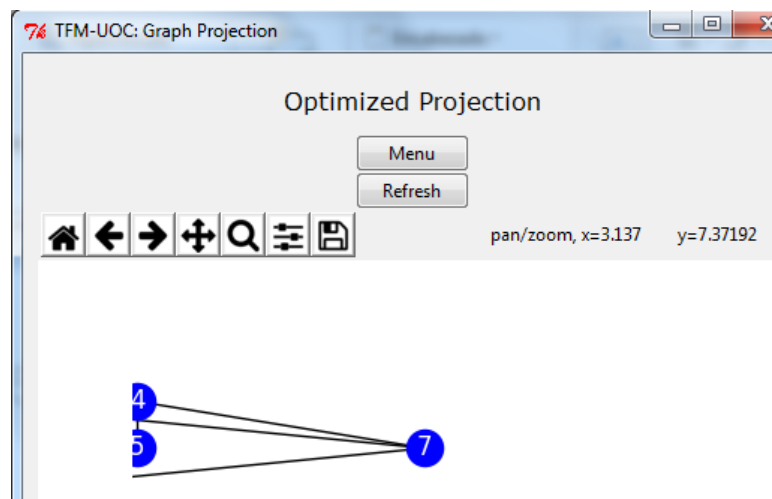
Nota: Els paràmetres que s'ajusten son relatius a la proporcionalitat de la projecció respecte a la finestra de visualització, en cap cas es modifiquen les proporcions i espais de la pròpia projecció, ja que aquests són objecte dels processos d'optimització.

**-Exportar la projecció a imatge:** Permet desar la projecció generada en diferents formats d'imatge. Com es veu en la següent figura la exportació a imatge respecte totes les propietats i característiques de la projecció atès que aquesta no esta lligada a cap layout per defecte.



14 Exportació a imatge

**-Desplaçament i Zoom:** Aquestes opcions permeten fer zoom a la projecció del graf i desplaçar-lo sobre la pròpia finestra de representació. És una funció útil i pràctica per a poder analitzar visualment determinades zones d'una projecció o representar únicament una part del graf projectat.



15 Desplaçament i Zoom

### 5.2.3 Processos d'optimització amb algoritmes genètics

Per a que la projecció de grafs sigui òptima s'han desenvolupat un conjunt de funcionalitats que permeten realitzar d'una manera àgil i ad-hoc una solució adequada i suficient al propòsit del treball, es a dir, una solució que es considera òptima.



A continuació es detallen els aspectes de desenvolupament de cada una dels àmbits inclosos en el context de la optimització per mitjà d'algoritmes genètics.

### **Generació del individu**

Un individu (solució) consisteix en un conjunt de posicions dels vèrtex d'un determinat graf G. En concret, una posició per cada un dels vèrtexs de G.

Així, donat un Graf  $G=(V,E)$  un individu estarà format per una llista del tipus:

$pos=\{(xV1,yV1), (xV2, yV2), \dots, (xVn, yVn)\}$ , on  $xVk$  indica la posició a l'eix X del node k i  $yVk$  indica la posició a l'eix Y del node  $yVk$ .

Per a implementar aquesta estructura s'ha usat la llista de dos dimensions que proporciona la llibreria Pyevolve: G2DList

Però hi ha un matís, aquesta llista (que conté les posicions dels nodes) no és suficient per a avaluar les solucions. El procés d'avaluació requerirà conèixer altres característiques del Graf per a poder dete

Arestes del Graf + Llista 2D representant les posicions

### **Funció objectiu**

La funció objectiu que mesura la qualitat de les solucions realitza les següents passes:

- Calcular la bondat de la solució relatiu a determinats aspectes (nombre de creuament d'arestes, alineació de vèrtex, etc...)
- Normalitzar aquest valors
- Aplicar el pes establert a cada característica de la projecció per a obtenir la qualificació final.

La funció objectiu, per tan, no és més que la combinació de la valoració de les diferents característiques o aspectes –determinats en funció de les convencions gràfiques decidides per al sistema - d'una determinada solució (projecció) i, a més, permetent que el usuari configuri prèviament el pes que cada una d'elles ha de tenir en el resultat de la avaluació global.

```

def eval_func(chromosome):

    #count overlapped nodes and aligned nodes
    overlapped,aligned=count_overlapped_nodes(chromosome)

    #count crossed edges
    crossed = count_crossed_edges(chromosome,get_edges())

    #normalize values
    o,a,c=normalize(overlapped,aligned,crossed,chromosome.getHeight(),len(edges))

    #Individual evaluation
    result=weight_overlapped*o + weight_align*a+weight_crossed*c

    return result

```

16 Funció d'avaluació de bondat d'una solució

## Normalització de valors per a la funció objectiu

Els valors derivats de l'avaluació de les diferents convencions gràfiques d'una projecció s'han de normalitzar perquè cada un d'ells té uns rangs d'acció diferents i, per tan, els pes que tindrien en el càlcul del resultat global (avaluació del individu) estaria distorsionat en aquest sentit.

```

def normalize(overlapped,aligned,crossed,num_nodes,num_edges):

    #Determines max value expected
    max_ov=num_nodes
    max_al=num_nodes
    max_cr=get_max_crossed_edges(num_edges)

    #Scaling values
    o=max_ov-overlapped
    c=max_cr-crossed

    if(o!=0):
        o=(o*10)/max_ov

    if(c!=0 and c<=max_cr):
        c=(c*10)/max_cr
    else:
        if(c!=0):
            c=max_cr

    a=(aligned*10)/max_al

    return o,a,c

```

17 Funció per a la normalització de valors

## Configuració processos d'optimització

S'han realitzar diverses configuracions dels processos d'optimització i s'han determinat d'unes més adequades que altres. La única condició que cal acomplir és que els valors de la solució han de poder canviar, no només han de

ser permutables, ja que altrament es limitaria molt el rang de solucions (només es jugaria amb les posicions obtingudes en la solució inicial).

En aquest problema no hi ha un gran conjunt d'espais desconeguts en el espai de cerca. Està tot força acotat i aquest fet facilita el poder fixar uns paràmetres adequats que funcionen transversalment per als diferents tipus d'entrada.

La implementació de la optimització s'ha realitzat íntegrament en el controlador principal del sistema i es crida des de la interfície gràfica-

A continuació es mostra una de les configuracions realitzades per als processos d'optimització:

```
def optimize(G):  
  
    global edges  
    edges=G.edges()  
    number_nodes=nx.number_of_nodes(G)  
  
    genome = G2DList.G2DList(number_nodes,2)  
    genome.setParams(rangemin=0, rangemax=10)  
  
    # The evaluator function (objective function)  
    genome.evaluator.set(eval_func)  
    genome.crossover.set(Crossovers.G2DListCrossoverSingleHPoint)  
    genome.mutator.set(Mutators.G2DListMutatorIntegerGaussian)  
    genome.initializer.set(Initializers.G2DListInitializerInteger)  
  
    # Genetic Algorithm Instance  
    ga = GSimpleGA.GSimpleGA(genome)  
    #ga.selector.set>Selectors.GRouletteWheel)  
    ga.setGenerations(100)  
    ga.evolve(freq_stats=10)  
  
    return ga.bestIndividual()
```

#### 18 Exemple de configuració del procés d'optimització

A continuació un exemple d'execució d'un graf senzill en el que des de un bon principi es troben solucions bones però, tot i així, el procés d'optimització aconsegueix millorar. En aquest cas, per la senzillesa del graf i a tall d'exemple, només es generen 10 generacions.

```
Gen. 0 (0.00%): Max/Min/Avg Fitness(Raw) [9.71(9.35)/6.36(6.75)/8.09(8.09)]  
Gen. 1 (10.00%): Max/Min/Avg Fitness(Raw) [11.03(9.35)/0.00(7.55)/9.38(9.19)]  
Gen. 2 (20.00%): Max/Min/Avg Fitness(Raw) [10.96(9.50)/1.52(7.60)/9.13(9.13)]  
Gen. 3 (30.00%): Max/Min/Avg Fitness(Raw) [11.11(9.50)/0.00(7.75)/9.29(9.25)]  
Gen. 4 (40.00%): Max/Min/Avg Fitness(Raw) [11.19(9.70)/1.46(7.75)/9.33(9.33)]  
Gen. 5 (50.00%): Max/Min/Avg Fitness(Raw) [11.48(9.70)/0.00(8.30)/9.91(9.57)]  
Gen. 6 (60.00%): Max/Min/Avg Fitness(Raw) [11.32(9.70)/0.00(7.05)/9.57(9.44)]  
Gen. 7 (70.00%): Max/Min/Avg Fitness(Raw) [11.30(9.70)/0.00(7.95)/9.42(9.41)]  
Gen. 8 (80.00%): Max/Min/Avg Fitness(Raw) [11.31(9.85)/4.38(8.30)/9.43(9.43)]  
Gen. 9 (90.00%): Max/Min/Avg Fitness(Raw) [11.54(9.85)/0.00(8.10)/9.66(9.62)]  
Gen. 10 (100.00%): Max/Min/Avg Fitness(Raw) [11.38(9.85)/2.36(8.10)/9.48(9.48)]  
Total time elapsed: 109.169 seconds.
```

#### 19 Exemple de poblacions generades en un procés d'optimització



## 6. Anàlisi de resultats

En aquest apartat es presenten els resultats obtinguts per el sistema i es comparen, inicialment, amb altres resultats obtinguts per el propi sistema sense fer ús dels processos d'optimització i, posteriorment, amb els resultats obtinguts per d'altres sistemes.

Els resultats que es presenten són a través de comparacions dos a dos, es comparen gràficament dues projeccions. Aquest estil de comparatives individuals d'exemples de diferents tipus de grafs es perquè la projecció de grafs té un alt component subjectiu i qualitatiu per el qual cal veure les projeccions per a comparar-les i treure conclusions. Evidentment, existeixen components quantitatius però aquests es referencien en les pròpies comparacions que es realitzen. Sha considerat que no tenia sentit en aquest cas elaborar estadístiques d'un alt número de comparacions perquè s'estaria obviant aquest component qualitatiu que juga un paper clau a l'hora de comparar els resultats de les projeccions.

### 6.1 Anàlisi qualitatiu dels resultats

El anàlisi de resultats obtinguts conté un alt component subjectiu. La percepció de que la projecció i visualització del graf és adequada no és mesurable únicament amb dades quantitatives. Des de aquest punt de vista qualitatiu i després de realitzar nombroses proves amb el sistema, es considera que els resultats obtinguts són satisfactoris. La projecció del graf es adequada en la majoria dels casos i aquesta posa de manifest que ho ha un treball previ a la projecció orientat a acomplir convencions gràfiques que facilitin la seva interpretació gràfica.

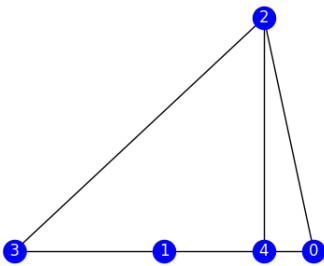
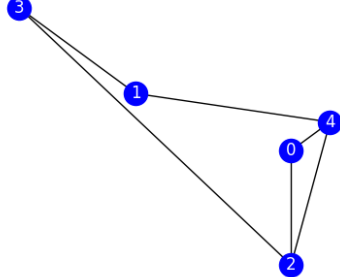
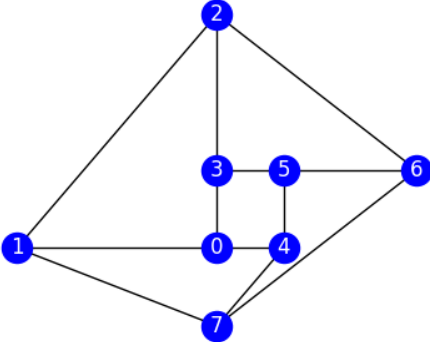
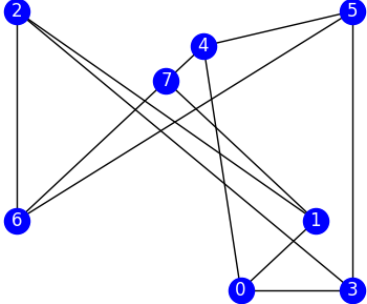
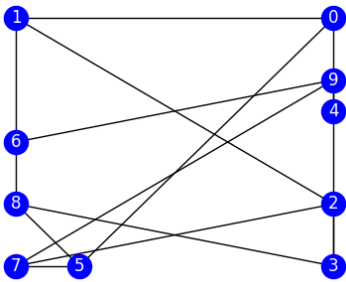
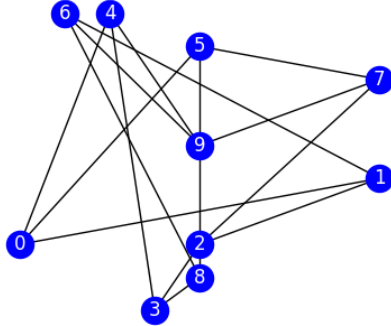
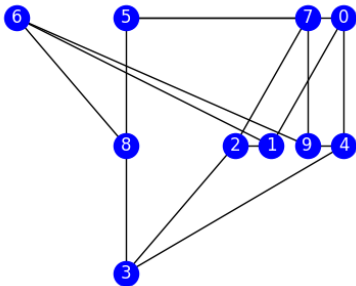
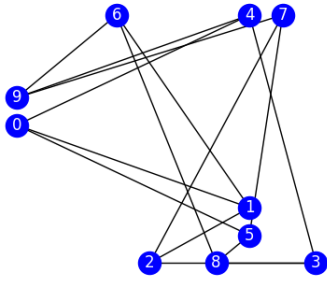
En concret, el sistema obté molts bons resultats per a grafs simples en quan al número de nodes i arestes. La projecció d'aquesta tipologia de grafs és clara: la distància entre els nodes i les proporcions són adequades i, a més, la longitud de les arestes és mínima i evita creuaments, amb la qual cosa la representació gràfica és bona. Com es veurà en apartats posteriors, els resultats són poc diferenciables qualitativament respecte als que s'obtenen amb d'altres sistemes de propòsit similar.

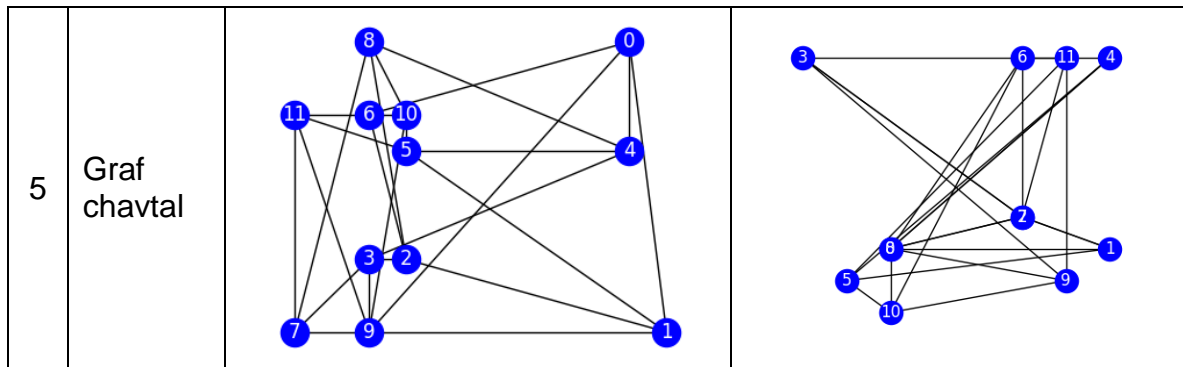
En el cas de grafs més complexes, el sistema obté solucions bones i suficients aconseguint uns resultats similars al que poden obtenir d'altres solucions existents de propòsit similar però és cert que s'observen alguns problemes o aspectes millorables. Especialment pel que fa la distribució dels nodes en el espai, que no en tots els casos és suficientment bona i, al observar les projeccions, dona la sensació de que es podrien redistribuir d'un altre manera (amb menys acoblament) en el espai disponible per a la representació.

## 6.2 Comparativa amb projeccions aleatòries

El primer que cal fer per analitzar els resultats obtinguts per el sistema és comparar-los amb projeccions aleatòries, és a dir, amb projeccions en les quals les posicions dels nodes han estat escollides de manera aleatòria. Aquesta comparativa permetrà veure quina feina fa el sistema en quan a la projecció. En els següents apartats es mostren alguns exemples i s'analitzen els resultats.

### 6.2.1 Comparativa de resultats

ID	Graf	Projecció optimitzada	Projecció aleatòria
1	Graf senzill		
2	Graf complex		
3	Graf de Petersen		
4	Graf de Petersen (versió 2)		



### 6.2.2 Anàlisi de resultats

ID Comparativa	Anàlisi dels resultats
1	La comparativa realitzada sobre un graf senzill mostra que el sistema obté la millor solució possible en la que cap node se superposa, tots els nodes están alineats i, evidentment, no hi ha cap creuament d'arestes. S'ha trobat una solució amb la millor puntuació possible. S'observa que en la projecció aleatòria, per exemple, els nodes no estan alineats i, a més, encara es podrien haver obtingut, per exemple, nodes superposats.
2	En aquest cas és pot observar clarament que la qualitat de la solució optimitzada és adequada. No hi ha cap creuament d'arestes, no hi ha cap node superposat i cada node està alineat, com a mínim, amb un altre. La projecció aleatòria conté creuament d'arestes i baix grau d'alineació.
3	La projecció del graf de petersen derivada dels processos d'optimització és adequada, no té tots els nodes alineats però és una solució bastant bona. Conté alguns creuaments d'arestes (7) però en comparació als de la projecció aleatòria (13) està prou bé i deixa palès que la projecció ha optimitzat aquesta convenció gràfica.
4	En aquest cas s'ha tornat a optimitzar la projecció del graf de petersen i s'ha aconseguit un resultat millor que en la anterior (no necessàriament s'hauria d'haver millorat però ha estat així) en el que únicament hi ha cinc creuaments d'arestes. En canvi, la projecció aleatòria manté els mateixos problemes de la primera.
5	En aquest cas es té un graf força complex (chavtal) en el que els processos d'optimització han fet un treball de distribució dels nodes i minimització del nombre de creuaments. S'observa, al respecte de la projecció aleatòria, que els resultats obtinguts són satisfactoris tot i que amb aquest grau de complexitat de graf és minimitza el seu efecte.

A continuació es presenten les conclusions dels resultats obtinguts:

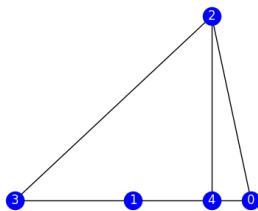
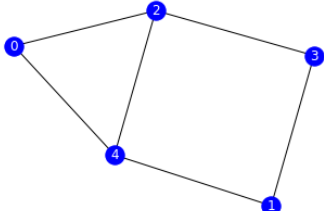
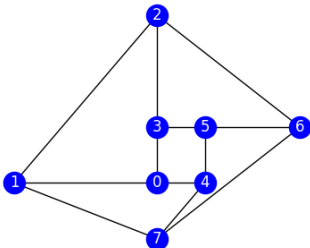
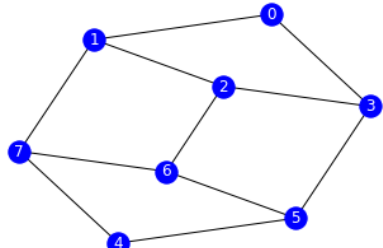
- El sistema treballa molt bé per a grafs no massa complexes (baix número de nodes i arestes) i acostuma a trobar la solució òptima, es a dir, aquella que obté la màxima puntuació possible perquè compleix gairebé al 100% amb els estàndards de les convencions gràfiques que procura optimitzar.
- En el cas de grafs més complexes, el sistema no troba una solució òptima (de fet en alguns casos ni tan sols existirà) però sí que troba una solució suficientment bona. En aquestes solucions s'observa –en comparació amb les projeccions aleatòries- que s'han optimitzat aquelles característiques que treballen els processos d'optimització. Tot i els pesos assignats a cada una de les característiques, és cert que hi ha algunes que s'acostumen a aconseguir (alineament de vèrtexs) encara que tinguin poc pes perquè són molt més senzilles d'aconseguir i no perjudiquen gaire a la consecució de la resta.

### 6.3 Comparativa amb projeccions en sistemes de propòsit similar

Un cop analitzats els resultats obtinguts per el sistema cal comparar-los amb els obtinguts per sistemes de propòsit similar. S'ha observat que la gran majoria de sistemes de propòsit similar obtenen uns resultats molt similars perquè fan ús dels mateixos layouts i sistemes de projecció. És per aquest motiu que per a unificar la comparativa es contrastaran els resultats del sistema amb els que ofereix la llibreria networkx.

En els propers apartats es realitza aquesta comparativa i s'analitzen els corresponents resultats.

#### 6.3.1 Comparativa de resultats

ID	Graf	Projecció optimitzada del sistema	Projecció networkx
1	Graf senzill		
2	Graf complex		



3	Graf de Petersen		
4	Chvátal		
5	Cubical		
6	Path		

### 6.3.2 Anàlisi de resultats

ID Comparativa	Anàlisi dels resultats
1	S'observa que ambdues projeccions són molt bones. Cap d'elles té nodes superposats ni creuament d'arestes. La projecció obtinguda del sistema construït en el treball afegeix el component d'alineament entre els nodes mentre que la de networkx prioritza la distribució equitativa d'aquests en l'espai.
2	En aquest cas el graf a projectar és més complex que en el cas anterior però els resultats són idèntics: ambdues projeccions són bones i en una d'elles (la del sistema) es prioritza l'alineament de nodes mentre que en l'altre es prioritza la distribució en l'espai d'aquests.
3	La projecció del graf de Petersen té connotacions similars als anteriors casos (igualtat en quan a convencions gràfiques i diferència en l'equilibri alineament-distribució). Totes dues solucions són adequades i l'elecció entre una o altra tindria components subjectius i qualitius. Personalment m'agrada

	més la projecció obtinguda per part del sistema construït.
4	En el cas d'aquest graf passa exactament el mateix que en el graf de Petersen, es a dir, dues bones solucions en les que l'elecció entre una o altra tindria un component subjectiu. No obstant, en aquest cas potser seria millor la projecció obtinguda per networkx perquè en la obtinguda per el sistema hi ha un agrupació de nodes en un espai determinat. Aquest fet es deu, un cop més, a la prioritització de l'alineació de nodes per sobre de la seva distribució en el espai.
5	En aquest cas s'ha comparat una projecció cúbica de networkx amb una projecció obtinguda per al sistema per aquell mateix graf. El sistema obté una bona solució en la que es minimitza el creuament d'arestes, però cal dir que visualment la projecció de networkx és molt bona per la distribució que fa dels nodes. La projecció del sistema no considera les formes ni els layouts que les potencien i, per aquest cas, s'ha notat en la comparativa.
6	Networkx té la possibilitat de projectar grafs "path" i s'ha comparat aquesta opció amb el resultat del sistema. El sistema obté un graf òptim (sense creuament d'arestes, ni superposició de nodes i amb alineament de vèrtexs) però visualment la projecció obtinguda per networkx és, potser, millor en el sentit de que és més uniforme. Però el sistema construït no considera formes ni proporcionalitats espacials.

A continuació es presenten les conclusions dels resultats obtinguts:

- El sistema treballa perfectament per a projeccions de grafs i aconseguir uns resultats molt similars als que es poden obtenir per altres sistemes existents de propòsit similar.
- Els altres sistemes tenen:
  - o Una capacitat lleugerament millor per a distribuir la projecció del graf en el espai de representació
  - o Menor capacitat de prioritzar unes convencions gràfiques per davant d'altres.
  - o Una capacitat per usar layouts de formes geomètriques i altres (cícles, cúbics, paths, ...) de les que no disposa el sistema construït. La projecció de grafs adequats per aquests layouts és millor en aquests altres sistemes.

#### 6.4 Conclusions generals dels resultats obtinguts

Els resultats obtinguts han estat satisfactoris. El sistema és capaç d'obtenir projeccions bones que compleixen amb les convencions gràfiques establertes al sistema. S'observa que jugant amb el pes –donat a la projecció- per a cada una d'aquestes convencions s'obtenen projeccions que potencien més unes o altres d'aquestes convencions.

Després d'analitzar els resultats obtinguts s'arriba a les següents conclusions:

- El sistema treball molt bé per a grafs senzills (amb un número reduït de nodes i arestes). El sistema és capaç d'obtenir solucions òptimes, es a dir, en les que l'avaluació de la solució obté la major puntuació possible.
- Per a grafs més complexos, el sistema obté solucions bones i suficients aconseguint uns resultats similars al que poden obtenir d'altres solucions existents de propòsit similar.
- A diferència del sistema construït, altres sistemes existents treballen prou bé la distribució de la projecció en el espai de representació i disposen de diferents layouts que es poden adequar a diferents tipus de grafs.



## 7. Conclusions

### 7.1 Conclusions generals

Com a conclusió general del treball destacar que s'han assolit satisfactòriament els objectius fixats inicialment. Per una banda, s'ha aconseguit desenvolupar la aplicació tal i com s'havia previst inicialment i a través de l'acompliment de totes les fites parcials prefixades (objectius parcials). Per altre banda, he pogut aprofundir en el coneixement del àmbit de la Intel·ligència Artificial així com aplicar i integrar en el treball altres coneixements adquirits en altres matèries cursades en el Màster en Enginyeria Informàtica com, per exemple, la gestió de projectes, la enginyeria de la usabilitat o les tècniques de programari.

Les conclusions sobre el producte obtingut i els resultats que amb aquest es poden obtenir s'han detallat en el apartat d'anàlisi de resultats, però destacar que, en línies generals, els resultats obtinguts han estat molt satisfactoris. El sistema construït és capaç d'obtenir projeccions bones que a compleixen amb les convencions gràfiques establertes. Les projeccions són difícilment distingibles d'altres obtingudes en sistemes existents de propòsit similar i, com a valor afegit, es pot dir que el sistema construït permet adequar la projecció del graf al context d'aquest per mitjà de la prioritització d'unes o altres característiques.

### 7.2 Conclusions sobre la gestió i seguiment del projecte

En la fase inicial del projecte és van identificar totes les fases, les tasques associades a cada fase, la dependència entre aquestes tasques i una estimació del cost (en temps) de cada una d'aquestes tasques. A partir d'aquí es va elaborar un calendari estimatiu en funció del temps disponible per a l'execució del treball.

La conclusió sobre la gestió del projecte és que ha estat adequada i suficient al propòsit. No era necessari un excés de dedicació a la gestió del projecte però sí que era molt important fer un esforç inicial (un calendari realista) i un seguiment continu i sobre aquest. Considero que ha estat un factor d'èxit clau del projecte. El projecte s'ha executat en la seva totalitat segons la previsió inicial, però si no hagués estat així el seguiment setmanal realitzar hagués permès anticipar desviacions i trobar solucions als problemes que haguessin pogut sorgir.

La gestió d'un projecte acadèmic com aquest té diferències significatives respecte a la gestió d'un projecte TI convencional. S'ha de ser rigorós amb la metodologia i constància així com en la presa de decisions. No hi ha un equip de projecte darrera que pugui ajudar a salvar situacions de bloqueig i, per tant, l'estudiant (que és qui executa la totalitat de les tasques) ha de ser capaç de situar-se en un nivell d'abstracció superior per a la presa de decisions i saber exercir com a cap de projecte.

## 7.4 Lliçons apreses

Es destaquen les següents lliçons apreses:

- Criteris a considerar en la presa de decisions en un context d'investigació o acadèmic. La presa de decisions en aquest context és diferent a la que hom es pot trobar en un context més empresarial o de negoci i, per tan, els criteris per sospesar les decisions també han d'estar alineades amb el context i les necessitats.
- L'anàlisi inicial (però detallat) de sistemes existents de propòsit similar és un factor d'èxit clau en aquesta tipologia de projectes. Cal analitzar les mancances dels sistemes existents i determinar quin pot ser el valor afegit que pot aportar el treball per a poder focalitzar-lo correctament.
- Particularitat de la gestió d'un treball acadèmic. La gestió i seguiment d'un treball acadèmic requereix ser disciplinat i rigorós. El fet de que sigui un treball individual pot fer tendir a executar les tasques d'una manera concreta, però és una bona pràctica auto exigir-se realitzar-les de la mateixa manera que es faria en un àmbit de treball en equip.
- Mètodes per maximitzar la productivitat. És important poder rendir al màxim en el temps disponible per dedicar al treball. Amb aquest objectiu cal buscar la manera més adient. En el meu cas ha estat paral·lelitzar tasques de diferent natura per tal de no estar un mes sencer realitzant tasques de la mateixa tipologia. He combinat documentació amb desenvolupament o disseny de les proves, per exemple.
- Diversitat de rols. L'execució del treball ha posat de manifest la importància de saber adoptar els diferents punts de vista o rols que participen i amb els respectius nivells d'abstracció. En aquest cas, en el cicle de vida del software. S'ha de saber pensar com a analista, com a programador o com a cap de projecte.

## 7.5 Punts de millora o línies d'investigació futura

Com a punts de millora del sistema o línies d'investigació futura es destaquen els següents:

- Al respecte de les projeccions:
  - o Proporcionalitat i distribució dels nodes en les projeccions.
  - o Millora de la interfície gràfica.
  - o Funcionalitats relatives a la personalització de les projeccions (colors dels nodes, espais de representació, etiquetes, etc...).
  - o Gestió de layouts per a la projecció de tipologies de grafs específiques.
- Funcionalitats relatives a la configuració dels processos d'optimització per part del usuari.

- Incorporar al sistema la possibilitat d'avaluar les projeccions realitzades per a poder acabar personalitzant les projeccions a les preferències del usuari.





## 8. Bibliografia

-Materials de l'assignatura Intel·ligència Artificial Avançada

-Les següents pàgines web

Títol	Autor	URL
Pyevolve documentation	Christian S. Perone	<a href="http://pyevolve.sourceforge.net/">http://pyevolve.sourceforge.net/</a>
High-productivity software for complex networks	NetworkX developer team	<a href="https://networkx.github.io/">https://networkx.github.io/</a>
Anaconda Distribution Open Data Science Core	Continuum Analytics	<a href="https://docs.continuum.io/anaconda/">https://docs.continuum.io/anaconda/</a>
Igraph- The newtwork analysis package	Igraph Core Team	<a href="http://igraph.org/redirect.html">http://igraph.org/redirect.html</a>
Python Documentation	Python Software Foundation	<a href="https://www.python.org/">https://www.python.org/</a>
GrphML Primer	Ulrik Brandes	<a href="http://graphml.graphdrawing.org/primer/graphml-primer.html">http://graphml.graphdrawing.org/primer/graphml-primer.html</a>
NodeXL: Network Overview	Brian Harry	<a href="http://nodexl.codeplex.com/downloads/get/806203">http://nodexl.codeplex.com/downloads/get/806203</a>
Grafos - software para la construcción, edición y análisis de grafos	Alejandro Rodriguez	<a href="http://arodrigu.webs.upv.es/grafos">http://arodrigu.webs.upv.es/grafos</a>
Python vs Java: Key Differences	Udemy, Inc	<a href="https://blog.udemy.com/python-vs-java/">https://blog.udemy.com/python-vs-java/</a>
NodeGL: An online interactive viewer for NodeXL graphs	Martin Hawksey	<a href="https://mashe.hawksey.info/2011/11/nodegl-an-online-interactive-viewer-for-nodexl-graphs-uploaded-to-google-spreadsheet/">https://mashe.hawksey.info/2011/11/nodegl-an-online-interactive-viewer-for-nodexl-graphs-uploaded-to-google-spreadsheet/</a>
Visualizing optimization process	Bogumił Kamiński	<a href="https://www.r-bloggers.com/visualizing-optimization-process/">https://www.r-bloggers.com/visualizing-optimization-process/</a>
The Python "with" Statement by Example	Jeff Preshing	<a href="http://preshing.com/20110920/the-python-with-statement-by-example/">http://preshing.com/20110920/the-python-with-statement-by-example/</a>