

*Memòria del TFG*

# **Modelat de dinàmiques poblacionals amb simulació basada en agents**

*Autor:* **Bernat Montseny Cusco**

*Director:* **Josep Casanovas Garcia. Departament d'Estadística i Investigació Operativa**

*Codirectora:* **Cristina Montañola Sales. Barcelona Supercomputing Center**

**Grau en Enginyeria en Informàtica**

*Especialitat:* **Enginyeria del Software**

**Facultat d'Informàtica de Barcelona (FIB)  
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC – BarcelonaTech)**

**Barcelona, 29 de juny de 2017**

# Taula de continguts

Resum	4
Introducció	4
Estat de l'art	6
Formulació del problema	8
Abast	8
Metodologia i rigor	8
Metodologia de treball	8
Eines de seguiment	9
Mètodes de validació	9
Recursos	9
Recursos Personals	9
Recursos Materials	10
Recursos Software	10
Planificació temporal	10
Planificació inicial	10
Calendari global	10
Descripció de les tasques	10
Diagrama de GANTT	12
Identificació de riscos	12
Solucions a eventuais desviacions	13
Planificació final	13
Desviacions i contramesures	13
Registre d'hores	13
Estudi de viabilitat econòmica	14
Consideracions Inicials	14
Previsió del pressupost inicial	14
Costos recursos humans	14
Costos software	15
Costos hardware	16

Despeses generals	16
Contingències i imprevistos	16
Pressupost	16
Control de gestió	17
Revisió del pressupost	17
Lleis i regulacions	19
Sostenibilitat i compromís social	19
Ambiental	19
PPP	19
Vida útil	20
Riscs	20
Econòmic	20
PPP	20
Vida útil	21
Riscs	21
Social	21
PPP	21
Vida útil	21
Riscs	22
Conclusions	22
Model conceptual	22
Model demogràfic	22
Fertilitat	22
Mortalitat	23
Estat econòmic	23
Estat civil	23
Model de mobilitat	24
Mobilitat exterior	24
Mobilitat interior	24
Implementació del model en Netlogo	25
Fertilitat	26
Mortalitat	27

Estat econòmic	27
Estat civil	29
Mobilitat exterior	31
Mobilitat interior	31
Mobilitat per estudis	31
Mobilitat per feina	33
Mobilitat per formació de parella sentimental	36
Setup	37
Go	40
Taula Resum	41
Verificació i validació	42
Fertilitat	43
Mortalitat	44
Estat econòmic	46
Estat civil	47
Mobilitat exterior	49
Mobilitat interior	49
Mobilitat per estudis	49
Mobilitat per feina	58
Mobilitat per formació de parella sentimental	62
Conclusions i futures millores	64
Referències	65

# Resum

En un món cada cop més poblat es fa difícil veure i quantificar l'efecte de les decisions socioeconòmiques sobre la nostra societat, ja que hi influeixen molts factors. Cada vegada més hi ha un interès més gran en aquesta matèria, donat que permeten reduir costos i provar mesures abans d'implementar-les, tot veient quins efectes tindran sobre les persones. La informàtica, ens obre una nova finestra de possibilitats, poden explotar una quantitat de dades molt elevada i per això en aquest projecte ens hem centrat a crear un model de simulació computacional on es pot veure l'impacte dels aspectes socioeconòmics en la mobilitat de les persones. A partir d'aquest model hem desenvolupat un prototip, sobre el qual hem realitzat una sèrie d'experiments per verificar-lo i validar-lo.

## Introducció

És un fet que, tant en els països desenvolupats i molt agudament en els països en vies de desenvolupament, la població està en un procés creixent de migració cap a les ciutats, que produeix un abandonament dels pobles i ciutats rurals. Tant és així que "*cada setmana més d'un milió de persones en tot el món es mouen de les àrees rurals cap a les ciutats*" (Tsay i Herrmann [1]). Això produeix diversos problemes tant a les ciutats superpoblades, com a les poblacions rurals cada cop més abandonades.

En les ciutats superpoblades trobem, entre altres, problemes socials, com ara la convivència entre les persones; problemes econòmics com el repartiment de recursos; problemes sanitaris provocats per la gran densitat de població, com el contagi de malalties; mediambientals, com la pol·lució; o els provocats per la necessitat d'espai, en deprimiment de l'espai natural.

Per contra, a les zones rurals el gran problema és l'abandonament d'aquestes poblacions. Els factors que influeixen en aquest abandonament són diversos i, en general molt relacionats entre ells. Entre molts altres, podríem esmentar aquí l'envelliment de la població, la rendibilitat de les explotacions agrícoles i ramaderes o les polítiques específiques i la disponibilitat d'infraestructures.

Arribats a aquest punt, la següent pregunta que ens ve a la ment és si existeixen eines que ens permetin modelar i preveure aquests fets i els canvis poblacionals que se'n deriven? La dinàmica poblacional pot ser una de les possibles respostes. La dinàmica poblacional és una especialitat de l'ecologia que es fixa en l'estudi dels canvis de determinades poblacions biològiques. En especial, i sense ser exhaustius, es fixa en el nombre d'exemplars que formen la població, en la seva estructura d'edat, el seu sexe i d'altres factors que les defineixen. També estudia els factors que causen aquests canvis i com es produeixen. Vist des d'un altre punt de vista, la dinàmica poblacional ens explica quins són els moviments demogràfics d'una població, juntament amb els seus efectes i causes.

Tenint en compte els recursos que ens aporta la dinàmica poblacional, la següent pregunta ens ve a la ment: si podem saber les causes dels moviments demogràfics, podríem donar una solució al problema de la superpoblació de les ciutats i l'abandonament del món rural? Podríem establir mecanismes que afavoreixin retenir la població rural als seus llocs d'origen o estimular un cert moviment demogràfic des de les ciutats cap a les zones rurals i així repartir de forma més equitativa la població en el territori, alhora que millorem les condicions de vida de la població?

Aquesta és una pregunta de difícil resposta, però que, sense cap mena de dubte, pot interessar al món polític en el qual s'han de prendre decisions que afecten les persones. A través de l'aplicació de polítiques públiques, l'efecte de les quals és estimat o avaluat abans de l'aprovació de la determinada política. La resposta a aquesta pregunta els pot proporcionar més informació a l'hora de dissenyar polítiques públiques.

Més enllà de la política, els investigadors també estan interessats en la resposta a aquesta pregunta, ja que està molt relacionada amb altres àmbits, com l'econòmic, l'ecològic o el social. I els hi permetria fer prediccions del futur amb més precisió de la que tenen actualment.

I no podem oblidar el món econòmic. El qual té una relació directa amb la millora de les condicions de vida de les persones. Tant és així que la United Nations Population Information Network (UNPOPIN) i el Department of Economic and Social Affairs de la United Nations Population Division amb el suport de la United Nations Population Fund (UNFPA) afirma que *“si es tinguessin en compte explícitament les qüestions de població en les estratègies econòmiques i de desenvolupament -- planificació, adopció de decisions i assignació de recursos a tots els nivells i a totes les regions --, es contribuiria tant al desenvolupament sostenible com a l'alleujament de la pobresa, a més d'aconseguir un creixement més lent de la població i una millor qualitat de vida”* [2]. Per tant, el món econòmic és un dels factors que afecta la resposta de la pregunta. Però alhora té un gran interès a saber la resposta, donat que els hi suposa noves oportunitats de negoci, sabent on es produirà una certa demanda de productes i serveis abans que es produeixi.

En menor mesura, també estan interessats els sectors ecologistes. Donat que si trobem i apliquem les mesures que fan revertir la situació d'un territori despoblat, aquest nou volum de població afecta de forma directa l'ecosistema del territori. Així doncs, podrien decidir prendre, amb antelació, una sèrie d'accions per protegir l'ecosistema.

La dinàmica poblacional és un terme molt ampli i complex. Per això aquest projecte està enfocat en un aspecte concret de la dinàmica poblacional: la mobilitat de les persones provocada per aspectes socioeconòmics. És a dir, aquest projecte pretén ajudar a resoldre un aspecte concret de la dinàmica poblacional.

# Estat de l'art

Com ja hem vist el problema és multidisciplinari, per a tant és molt difícil separar clarament per categories les actuacions que es duen a terme en l'àmbit de la dinàmica poblacional. El problema de la dinàmica poblacional s'enfoca des de diferents escales.

## Fonts de dades

En una escala global, on trobem les Nacions Unides, les quals tenen el departament d'Afers Econòmics i Socials (DESA) [3]. La DESA s'encarrega de promoure conferències sobre demografia, alhora que publica estudis econòmics de qualitat i ajuda als països a desenvolupar les seves capacitats nacionals.

També trobem actuacions a una escala europea, on trobem l'Organització per a la Cooperació i el Desenvolupament Econòmics (OCDE) [4]. La qual es defineix a si mateixa com a *"un fòrum on els governs puguin treballar conjuntament per compartir experiències i buscar solucions als problemes comuns. Treballem per entendre que és el que condueix al canvi econòmic, social i ambiental. Mesurem la productivitat i els fluxos globals del comerç i inversió. Analitzem i comparem dades per realitzar pronòstics de tendències. Fixem estàndards internacionals dins d'un ampli rang de temes de polítiques públiques."*

En l'àmbit europeu també trobem l'oficina estadística de la Unió Europea anomenada Eurostat [5], en la qual trobem tot tipus d'estadístiques de les regions europees.

En el cas d'Espanya, el govern també ofereix un conjunt de dades estadístiques de la població espanyola. [6]

Fixant-nos en el cas espanyol, a una escala més petita, trobem els ajuntaments, els quals no tenen una política d'actuació definida i unificada en vers a la dinàmica poblacional. L'ajuntament de Barcelona ofereix estadístiques actualitzades sobre la població exclusivament en l'àmbit urbà de la ciutat de Barcelona. [7]

Aquestes organitzacions fan ús de les següents eines:

- Promoció de conferències, seminaris, workshops ...
- Formació d'organitzacions especialitzades.
- Promoció i divulgació d'estudis rigorosos.
- Recull i gestió de dades estadístiques.

En aquest projecte abordarem el problema la mobilitat de les persones provocada per aspectes socioeconòmics, a través de la creació d'un model informàtic.

## Metodologia

En primer lloc hem de saber que són els models.

Un model és una abstracció o representació formal d'un sistema o d'un procés. Per tant, un model representa algun aspecte particular de la realitat convertint-se en un referent de la mateixa realitat, que permet als usuaris comprendre-la i interactuar-hi. La utilitat d'un model es deriva del seu propòsit o finalitat. En general, tots els models tenen com a finalitat explicar o descriure un sistema o procés. Però alguns models també tenen com a objectiu buscar una solució òptima, o la millor solució possible, a un problema determinat. Mentre que d'altres volen establir una predicció o pronòstic d'un estat futur d'un sistema. (Lahoz-Beltrá<sup>1</sup>)

En el cas de la modelització de la dinàmica poblacional, la finalitat que se li atorga als models és la de poder extreure una predicció d'un estat futur, de manera que puguem preveure que passarà i prendre les decisions necessàries.

La modelització de les dinàmiques poblacionals és una eina utilitzada en l'estudi de poblacions, sobretot la modelització en models exclusivament analítics. Hi ha diversos models matemàtics, que es diferencien segons l'objecte d'estudi i segons l'aspecte en el qual es vulgui fer èmfasis. Aquests models ja han estat molt estudiats, verificats i acceptats per la comunitat científica. I podem trobar llibres on ens expliquen la formulació i utilització d'aquests models. Per exemple, en format digital trobem *Modeling Population Dynamics* de André M. de Roos [9] o *Modeling Population Dynamics: a Graphical Approach* de Rob J. de Boer [10], i en format físic *Modelling Population Dynamics* de Ken Newman [11] o *Ecología aplicada* de Alberto Ramírez González [12].

Vist des del punt de vista de la simulació, la modelització de la dinàmica poblacional es pot abordar de dues maneres. D'una banda, es pot utilitzar models de sistemes dinàmics, que són models matemàtics que descriuen les dinàmiques dels sistemes, permeten obtenir informació sobre els fluxes que hi tenen lloc així com els moviments agregats. Els sistemes dinàmics són molt útils quan volem experimentar amb agregats però no permeten modelar les característiques individuals de les persones, tret fonamental per comprendre les dinàmiques poblacionals. Com alternativa, trobem la simulació basada en agents (ABS)<sup>2</sup>, on es defineix el comportament i les relacions que té un agent (individu) amb els altres i amb el seu entorn, d'aquesta manera es pretén veure el comportament emergent dels agents en situacions concretes. Actualment, hi ha diverses modelitzacions d'aspectes concrets de la dinàmica poblacional basada en simulació per agents. Per exemple, la modelització de la dinàmica poblacional d'un mosquit [14], o la migració de població en uns determinats municipis del Regne Unit [15].

---

<sup>1</sup> Veure Lahoz-Beltrá, Rafael. *Bioinformática, Simulación, vida artificial e inteligencia artificial*. [8]

<sup>2</sup> Veure Open Agent Based Modeling Consortium *What are agent-based models (ABMs)?* [13]



# Formulació del problema

Ja hem vist que són les dinàmiques poblacionals i quines alternatives tenim per modelar-les. Inicialment enfoquem el problema en l'àmbit de la mobilitat de les persones provocada per aspectes socioeconòmics. Concretament ens fixem en els moviments quotidians de la població, observant el fenomen de les migracions tenint en compte aspectes socioeconòmics.

L'objectiu d'aquest projecte és saber més sobre la relació que tenen els aspectes socioeconòmics amb la mobilitat, per poder determinar quin efecte tindria un canvi socioeconòmic sobre la mobilitat d'una regió concreta.

## Abast

Tenint en consideració que aquest projecte és un projecte final de grau, l'abast del projecte és el següent.

- Definició i conceptualització del problema i del model. És a dir, entendre el problema del despoblament i l'equilibri territorial i fer un model centrat en la mobilitat, el qual sigui genèric i adaptable a futures millores.
- Disseny i construcció d'un prototip software per a recolzar la recerca en aquest domini, on es puguin veure els resultats, del model creat, en escenaris específics per poder determinar si el model és una representació vàlida de la realitat. Aquest prototipus consta de tres parts fonamentals, el motor de simulació, la interfície de l'usuari i l'anàlisi de resultats.

## Metodologia i rigor

### Metodologia de treball

La metodologia aplicada en el desenvolupament d'aquest projecte és una adaptació de les metodologies àgils. Ja que l'equip és insuficient per a desenvolupar al complet una metodologia àgil perquè està format pels directors del projecte, que fan el rol de caps de projecte, l'equip d'investigació que fa el rol de consultor i l'estudiant que fa la resta de rols necessaris.

Els sprints s'han dut a terme de forma quinzenal. Al final de cada esprint s'ha realitzat una reunió de seguiment amb els directors del projecte per poder validar la feina feta, per detectar i solucionar errors o imprevistos i per validar la planificació, si és el cas, canviant-la per adaptar-la a la realitat del projecte.

## Eines de seguiment

Com no es tracta d'un projecte a desenvolupar per un equip, sinó per una sola persona, no s'ha focalitzat en l'ús d'eines dirigides al treball en equip. Però com és un projecte que pretén que pugui ser ampliat i utilitzat en altres projectes, no podem descartar aquest tipus d'eines completament.

En la realització del projecte s'ha utilitzat eines de control de versions de codi, juntament amb gestors de repositoris en xarxa, per tal de garantir la disponibilitat del codi i facilitar la recuperació de fallades.

Per a la comunicació amb els directors del projecte, s'ha utilitzat eines habituals com l'e-mail, per a la comunicació de missatges i un sistema de desada i compartició de fitxers al núvol (Google Drive).

Si el projecte fos desenvolupat per un equip, també s'haurien utilitzat eines per assignar i controlar les tasques que ha de realitzar cada membre de l'equip. I possiblement s'utilitzaria una eina de comunicació de l'estil xat, per a agilitzar les comunicacions, afavorint una resolució més ràpida de problemes o consultes.

## Mètodes de validació

Les reunions regulars amb els directors i amb altres persones vinculades al projecte han permès anar revisant els requisits funcionals i de qualitat del projecte, tant la seva validesa com el seu compliment.

També han garantit una comunicació constant que ha facilitat la ràpida resolució dels dubtes i problemes que han anat apareixent durant la realització del projecte.

## Recursos

Per dur a terme aquest projecte, s'han necessitat recursos humans, recursos materials o hardware i recursos de software.

### Recursos Personals

El projecte s'ha dut a terme fonamentalment per tres persones, l'estudiant s'ha encarregat de planificar, dissenyar, desenvolupar, testejar i realitzar totes les feines que han sorgit de la realització del projecte. I el director i la codirectora del projecte s'ha encarregat de la supervisió del projecte. També s'ha de tenir en consideració l'equip d'investigació que s'ha encarregat de resoldre consultes específiques.

## Recursos Materials

- Espai físic de treball, per poder realitzar el projecte en un entorn segur i confortable.
- Ordinador de sobretaula, per a poder realitzar les diferents tasques del projecte.
- Ordinador portàtil, per a poder continuar realitzant el projecte fora de l'entorn de treball habitual.

## Recursos Software

- Plataforma Google Drive, per emmagatzemar i editar documents relacionats amb la realització de la documentació del projecte.
- Git , eina de control de versions de codi.
- Bitbucket, repositori de codi en xarxa.
- Aplicació Ganttter, per a la realització de la planificació del projecte.
- Sublime text 2, aplicació per l'edició de fitxers.
- Sistema operatiu Windows 10, instal·lat en els ordinadors que s'han utilitzat per a la realització del projecte.
- Netlogo, entorn de simulació per agents.

# Planificació temporal

## Planificació inicial

### Calendari global

Inicialment es va estimar que el projecte acabaria tenint una durada d'uns quatre mesos. Des del 20 de febrer del 2017 fins al juny del mateix any. Per poder fer front a possibles desviacions de la planificació del projecte, es va preveure que el desenvolupament acabes a finals de maig.

### Descripció de les tasques

S'ha de tenir en compte que el projecte el realitza una sola persona, per tant ni que algunes fases del projecte s'haguessin pogut fer de forma paral·lela, s'han realitzat bàsicament de forma seqüencial. Per això s'ha considerat innecessari realitzar un diagrama de PERT.

S'ha dividit el projecte en diverses fases, les quals són:

- **Anàlisi preliminar**

Fase on es determina l'objectiu del projecte, s'estudia l'estat de l'art, es defineix l'abast del projecte, les metodologies a utilitzar i es fa una planificació temporal de la feina a fer.

Duració tres setmanes.

- **Construcció del model**

Fase on es crea i descriu el model, la qual és una de les parts crítiques del projecte.

Duració tres setmanes.

- **Implementació d'un prototip**

Un cop descrit el model, l'implementem i fem una primera validació. Aquesta fase se subdivideix en les següents subfases:

- **Implementació del codi**

Subfase on s'implementa el model descrit anteriorment a codi informàtic per a ser utilitzat de forma més eficient i efectiva. Duració dues setmanes.

- **Experimentació inicial**

Subfase on es fa una primera experimentació amb el model ja implementat, per a veure uns primers resultats. Duració dues setmanes.

- **Validació inicial**

Subfase on es valida el model, a través de la validació de resultats de l'experimentació de la subfase anterior. Duració dues setmanes.

- **Depuració**

Fase crítica del procés on es depura el model, fent els canvis pertinents si és el cas.

Duració dues setmanes.

- **Millorar Entorn prototip**

Fase on es crea l'entorn visual, fent-lo més intuïtiu, amigable i útil. Duració una setmana.

- **Futures millores**

Fase on s'identifiquen possibles millores, que no s'han realitzat o bé per falta de temps o bé perquè estan fora de l'abast d'aquest projecte. Duració tres dies.

- **Elaboració de documentació**

Fase on es recull tota la documentació generada en les fases anteriors i s'elabora memòria del projecte. Duració tres dies.

## Diagrama de GANTT



En el diagrama de GANTT podem observar les dependències de cada fase.

La Fase de Construcció del model no es pot iniciar sense haver fet l'anàlisi preliminar de l'objecte de l'estudi.

La Fase d'Implementació d'un prototip no es pot dur a terme fins que no es té el model el qual s'implementa. Dins la fase d'implementació, les seves subfases són seqüencials.

La fase de depuració, no es pot iniciar fins que no s'ha acabat la fase d'implementació, és a dir, no es pot començar fins que no tens el que has de depurar acabat.

La Fase de millora de l'entorn del prototip, és dura a terme un cop el model ja hagi sigut validat i depurat. Ja que la part més important del projecte és el model.

La Fase de futures millores i elaboració de documentació es poden dur a terme en paral·lel un cop ja s'hagin acabat totes les fases anteriors.

## Identificació de riscos

Tant aquest projecte com la seva planificació contenen una sèrie de riscos.

Primerament, trobem el risc que el desenvolupament recau majoritàriament sobre l'estudiant i això fa que si per algun motiu l'estudiant no pugui realitzar la feina, el projecte i la planificació es veuen afectades, ja que no es disposa de més personal per poder redirigir la feina a una altra persona i així poder assegurar el compliment de la feina en els terminis establerts.

Respecte a la planificació, trobem el risc que les tasques del projecte són seqüencials, això provoca que si una tasca s'endarrereix, s'hagin de reorganitzar les tasques restants amb el temps que quedi fins a l'acabament del projecte. És a dir, es reuneixen els temps establerts per cada tasca i això empitjora la qualitat de la feina.

Les fases més crítiques i, per tant, les que contenen més risc són la construcció i la validació

del model. Ja que en aquest projecte si el model no s'ajusta bé al que es vol modelar, els resultats que obtindrem i les previsions de futur que es puguin extreure del model seran errònies i per tant no útils.

## Solucions a eventuais desviacions

Com ja s'ha comentat anteriorment, s'ha reservat un temps fent que el procés de desenvolupament acabi a finals de maig.

La fase de depuració, dins la planificació també està pensada com un coixí de temps per fer front a eventuais problemes o endarreriments que hagin pogut sorgir de les fases anteriors.

## Planificació final

### Desviacions i contramesures

Durant la realització d'aquest projecte s'ha hagut de fer front a diversos endarreriments.

Primerament es va fer un anàlisi preliminar del problema de la dinàmica poblacional. Seguidament s'hauria d'haver començat la construcció del model, però no va ser així, perquè ens vam adonar que la dinàmica poblacional és un terme molt ampli, com ja s'ha explicat amb detall anteriorment. Per tant, es va consumir un temps pensant quin aspecte concret de la dinàmica poblacional era més útil estudiar. Aquest fet ja va provocar els primers canvis en la planificació, endarrerint les tasques posteriors a la d'anàlisi preliminar.

Un cop realitzada la tasca de construcció del model, es va trobar interessant fer la implementacions d'aquest model amb un programa anomenat Netlogo [16], el qual ens proporciona un entorn de simulació per agents.

A mesura que va anant avançant el projecte es va fer evident la falta de temps i es va decidir aplicar les mesures contra eventuais desviacions, descrites anteriorment, i es va eliminar la tasca de depuració i la tasca de millora de l'entorn del prototip.

Aquesta falta de temps va ser provocada pel temps que es va consumir pensant quin aspecte concret de la dinàmica poblacional era més útil realitzar i per la pèrdua d'una setmana sencera de treball per motius de salut de l'estudiant.

### Registre d'hores

Durant la realització del projecte, l'estudiant ha realitzat un registre d'hores de feina. Veure *Taula 1: Registre d'hores*. La precisió del registre s'ha dut a terme en hores.

		Estudiant
Reunions	Directors del projecte	8 h.
	L'equip d'investigació	8 h.
	Total	12 h.
Anàlisi preliminar		28 h.
Construcció del model		30 h.
Implementació d'un prototip		74 h.
Elaboració de documentació i Futures millores		47 h.

Taula 1: Registre d'hores.

## Estudi de viabilitat econòmica

### Consideracions Inicials

S'ha de tenir en consideració que aquest és un projecte de treball de fi de grau. I per tant ha estat realitzat per tres persones i és un projecte universitari que no té una inversió inicial de capital.

A causa de la naturalesa del projecte, els recursos necessaris per al desenvolupament del mateix són, els recursos humans, els recursos software, la part proporcional amortitzada del hardware utilitzat, i les despeses generals.

### Previsió del pressupost inicial

Al començament del projecte es va realitzar un estudi de la viabilitat econòmica del projecte realitzant el següent pressupost.

### Costos recursos humans

Com s'ha descrit anteriorment, aquest projecte el realitzarà l'estudiant, els directors del projecte i l'equip d'investigació. Per tant l'estudiant realitza els rols d'analista, desenvolupador i tester, els directors del projecte realitza el rol de director del projecte i l'equip d'investigació realitza el rol de consultor extern.

De totes les hores estimades, n'hi haurà una part que es realitzen al despatx dels directors del projecte, en forma de reunions d'una durada de 2 hores aproximades. I la gran majoria d'hores es desenvolupen a casa de l'estudiant.

S'ha realitzat una recerca de les remuneracions dels diferents rols implicats en el projecte i hem

vist que no hi ha un valor fix, per això s'han aproximat als valors que apareixen en la *Taula2: Estimació dels costos dels recursos humans*.

Rols	Hores (h)	Preu unitari (€) per hora	Cost estimat (€)
Director del projecte	30	40	1.200
Analista	200	35	7.000
Desenvolupador	268	30	8.040
Tester	100	25	2.500
Consultor extern	56	15	840
<b>Total</b>	<b>654</b>	<b>-</b>	<b>19.580</b>

*Taula 2: Estimació dels costos dels recursos humans.*

## Costos software

Per a la realització d'aquest projecte s'utilitza una gran quantitat de software lliure. El qual fa reduir els costos dels recursos software del projecte.

Producte	Preu (€)	Unitats	Vida útil (anys)	Amortització (€)
Windows 10	69	1	3	7,55
Google drive	0	1	5	0
Aplicació Gantter	0	1	5	0
Sublime Text 2	0	1	5	0
Netlogo	0	1	5	0
Git	0	1	5	0
Bitbucket	0	1	5	0
<b>Total</b>	<b>69</b>	<b>6</b>	<b>-</b>	<b>7,55</b>

*Taula 3: Estimació dels costos dels recursos software.*

Càlculs *Taula 3: Estimació dels costos dels recursos software*.

- Windows 10:  $(69 \text{ €} * 654 \text{ h}) / (8 \text{ h/dia} * 249 \text{ dies} * 3 \text{ anys}) = 7,55 \text{ €}$



## Costos hardware

Per a la realització d'aquest projecte l'estudiant utilitza un portàtil. Encara que en moments puntuals els podrà treballar des d'un altre ordinador.

Producte	Preu (€)	Unitats	Vida útil (anys)	Amortització (€)
Acer Aspire 8943G	1.100	1	4	90,28
Ratolí Logitech	10	1	2	1,64
<b>Total</b>	<b>1.110</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>91,92</b>

Taula 4: Estimació dels costos dels recursos hardware.

Càlculs Taula 4: Estimació dels costos dels recursos hardware.

- Acer Aspire 8943G:  $(1.100 \text{ €} * 654 \text{ h}) / (8 \text{ h/dia} * 249 \text{ dies} * 4 \text{ anys}) = 90,28 \text{ €}$
- Ratolí Logitech:  $(10 \text{ €} * 654 \text{ h}) / (8 \text{ h/dia} * 249 \text{ dies} * 2 \text{ anys}) = 1,64 \text{ €}$

## Despeses generals

A part de les despeses esmentades anteriorment també existeixen d'altres, com els costos d'oficina, la llum, la calefacció, la connexió a internet, entre d'altres, de les instal·lacions on es desenvolupa el projecte. També, es tenen en compte les despeses de transport i allotjament en el cas que sagues de fer un desplaçament llarg i costos. De manera que s'ha decidit reservar un 15% del pressupost per fer front a aquestes despeses indirectes.

## Contingències i imprevistos

A part d'una possible desviació en el temps, hi poden haver altres motius que facin augmentar el cost total del projecte, el més evident és una avaria en els ordinadors que s'utilitzen. En el cas del portàtil, el qual no té garantia, se n'hauria de comprar un de nou i sumar la part proporcional al cost total del projecte ( $0,125 * 1100 = 137,5 \text{ €}$ ) suposant que aquest s'espatlli a la meitat de la realització del projecte.

Per últim, per assegurar cobrir altres despeses que no s'hagin pogut planificar, s'aplicarà un percentatge de contingències al cost total del projecte, així s'assegura un compliment molt més fiable del pressupost que en cap cas se superarà. S'ha decidit que el marge de contingències sigui del 5%.

## Pressupost

Afegint doncs ajuntem tots els costos més les contingències i els imprevistos. I obtenim el següent resultat:

Tipus de recurs	Cost (€)
Recursos humans	19.580
Recursos software	7,55
Recursos hardware	91,92
Despeses generals *	15% (2951,92)
Imprevistos	137,5
Contingències	5% del total
<b>Total</b>	<b>23907,33</b>

*Taula 5: Estimació del cost total del projecte.*

*\* 15% de l'estimació del pressupost*

## Control de gestió

Es mantindrà un registre de les hores de feina realitzades, per tal de poder comparar-les amb la planificació.

Al final del projecte, un cop es tinguin dades sobre la duració real del projecte, els recursos utilitzats i els imprevistos que hagin sorgit, es podrà fer un càlcul del cost real del projecte i es podrà comparar amb aquest pressupost. Si el cost real fos major al pressupostat, s'aplicarà el fons reservat per imprevistos. Si no fos suficient s'aplicarà, el fons reservat a contingències.

## Revisió del pressupost

Un cop ja acabat el projecte, hem realitzat el càlcul real del pressupost, el qual queda de la següent manera.

Hem acotat el cost dels recursos humans gràcies al registre d'hores que s'ha dut a terme durant la realització del projecte i que estan descrits a la *Taula 1: Registre d'hores*. Per tant els costos reals del projecte queden de la següent manera, veure *Taula 6: Costos dels recursos humans*.

Rols	Hores (h)	Preu unitari (€) per hora	Cost estimat (€)
Director del projecte	8	40	320
Analista	72	35	2520
Desenvolupador	74	30	2220
Tester	29	25	725
Consultor extern	8	15	120
<b>Total</b>	<b>191</b>	<b>-</b>	<b>5905</b>

Taula 6: Costos dels recursos humans.

Per altra banda, els costos dels recursos software i hardware no han canviat respecte a la previsió inicial.

Tot i que durant la realització del projecte no s'ha realitzat un desplaçament que necessites transport i allotjament, apliquem el 15% del pressupost inicial reservat a despeses generals, ja que s'han de fer front a costos indirectes, ja anomenats anteriorment.

Respecte a l'apartat de contingències i imprevistos, no és necessari aplicar cap dels dos apartats, ja que durant la realització del projecte no s'ha espatllat el portàtil de l'estudiant i el cost real del projecte és menor a l'estimat inicialment.

Finalment el pressupost real queda de la següent manera, veure *Taula 7: Cost total del projecte*.

Tipus de recurs	Cost (€)
Recursos humans	5905
Recursos software	7,55
Recursos hardware	91,92
Despeses generals *	2951,92
Imprevistos	-
Contingències	-
<b>Total</b>	<b>8956,39</b>

Taula 7: Cost total del projecte.

\* 15% de l'estimació del pressupost

## Lleis i regulacions

Aquest projecte no es veu afectat per cap llei o regulació específica que s'hagi de tenir en consideració a l'hora de realitzar aquest projecte.

Ja que no utilitza dades de caràcter personal, les quals necessiten un tractament especial a l'hora d'utilitzar-les i guardar-les, i el projecte no té finalitats comercials.

## Sostenibilitat i compromís social

Per avaluar l'impacte social, econòmic i ambiental del projecte s'ha decidit realitzar la matriu de sostenibilitat, basada en les idees de "*L'economia del bé comú*", de Christian Felber [17].

Durant la realització d'aquest projecte s'han dut a terme les fases de planificació, desenvolupament i implementació, que s'agrupen en la part de projecte posta en producció (PPP).

	PPP	Vida útil	Risc	Total
Ambiental	9	18	0	27
Econòmic	8	10	0	18
Social	5	20	0	25
Total	22	48	0	70

Taula 8: Matriu de sostenibilitat.

### Ambiental

#### PPP

Com que tots els recursos necessaris per a la realització del projecte ja estaven disponibles i en ús abans de la realització del projecte, no ha sigut necessari compra nous recursos. L'ordinador portàtil té un consum d'energia que s'ha de tenir en consideració, però com que s'utilitza per a altres tasques fora del projecte no suposa un increment significatiu en el consum energètic. A més l'antiguitat del portàtil fa que el seu cost ja hagi estat amortitzat.

El projecte també ha reaprofitat recursos d'altres projectes, sobretot eines software, estalviant temps i diners. En ser un producte software, no es necessita cap cost de fabricació ni genera cap tipus de contaminació directa. Tampoc ens hem de preocupar del reciclatge, ja que senzillament eliminem el software del disc dur.

Un dels objectius del projecte és que pugui ser ampliable i per tant que es pugui reaprofitat-ne parts o tot sencer per a futurs projectes.

A més s'ha intentat no utilitzar més llum, calefacció i aire condicionat de l'estrictament necessari, reduint l'impacte sobre el medi ambient.

Aquest projecte mereix una valoració de 9.

## Vida útil

Com hem pogut comprovar, actualment no hi ha una solució definitiva al problema que es planteja aquest projecte. Per a tant no tenim cap referent previ en el qual pugem compara si la nostra solució és millor o pitjor des del punt de vista mediambiental.

Durant la vida útil del projecte es consumiran molt pocs recursos, els components hardware d'un ordinador, els quals són molt reutilitzaves en altres tasques, i el consum energètic de l'ordinador, que no suposa un gran impacte ambiental.

En finalitzar el projecte s'ha construït un prototip software i per tant redueix l'ús de futurs recursos, ja que un altre projecte pot fer servir aquest com a base i per tant no ha de començar de zero, la qual cosa implica un menor consum de recursos i per tant un menor impacte ambiental.

Aquest projecte mereix una valoració de 18.

## Riscs

L'únic escenari que faria augmentar la petjada ecològica del projecte, seria si l'impacte ambiental de la producció dels recursos hardware que formen un ordinador augmentés, cosa que és poc probable perquè cada cop l'impacte és menor, o si l'impacte ambiental de la producció d'energia augmentés, fet molt poc probable per l'aparició de les energies renovables.

Aquest projecte té un risc 0.

## Econòmic

### PPP

S'ha realitzat una avaluació de costos del projecte, tant de recursos materials com humans, tenint en compte el cost de reparacions del material i de desviacions de calendari dins la partida d'imprevistos.

El cost real del projecte és realment baix a causa de la seva naturalesa acadèmica, i forma part d'un programa més ampli de projectes i recerques dins l'àmbit universitari, del que reutilitza elements i que en pot aprofitar els resultats.

S'ha intentat reduir els costos indirectes intentant no utilitzar més llum, calefacció i aire condicionat de l'estrictament necessari.

El cost real del projecte és menor al pressupostat, perquè s'ha realitzat amb menys hores que

les estimades inicialment.

Aquest projecte mereix una valoració de 8.

## Vida útil

Com ja s'ha comentat en l'apartat ambiental, aquest projecte no té cap referent amb el qual es pugui comparar.

El producte desenvolupat en aquest projecte és un prototip, per tant se li faran actualitzacions durant el període de vida útil del projecte. Aquestes actualitzacions tenen un cost econòmic que s'ha de tenir en consideració. La reducció d'aquest nou cost depèn directament de les previsions econòmiques dels projectes destinats a realitzar les actualitzacions.

Aquest projecte mereix una valoració de 10.

## Riscs

Existeix el risc que un altre equip d'investigació proposi un altre prototip o producte alternatiu que posi fi a la vida útil del projecte, però aquest risc està implícit dins de la definició de prototip, per tant és un risc acceptable en aquest projecte.

Aquest projecte té un risc 0.

## Social

### PPP

La realització d'aquest projecte ha aportat nous coneixements a l'estudiant, tant tècnics com organitzatius i de treball en equip.

Aquest projecte mereix una valoració de 5.

## Vida útil

Si l'objectiu del projecte es complís, això implicaria una millor repartició dels recursos en la població, aquest fet té com a resultat la millora de les condicions de vida de la Societat, tot i que no s'espera cap millora de la societat a curt termini i no amb aquest projecte per si sol.

Aquest projecte no era necessari fa uns anys però actualment sí que ho és i encara ho serà més, ja que el problema del despoblament és un problema global.

Com ja s'ha descrit amb detall, el món polític, els investigadors, el món econòmic i alguns sectors ecologistes es beneficien de l'ús d'aquest projecte. Mentre que no hi ha cap sector que es vegi perjudicat pel seu ús.

Aquest projecte mereix una valoració de 20.

## Riscs

Aquest projecte no té cap efecte perjudicial sobre la població, ni crea cap tipus de dependència que pugui deixar els usuaris en una situació de debilitat.

Aquest projecte té un risc 0.

## Conclusions

En general el projecte és sostenible obtenint una puntuació de 70 sobre 90. En concret és molt sostenible en l'àmbit ambiental i social, mentre que l'àmbit econòmic és clarament millorable perquè sigui més sostenible econòmicament.

Personalment i tenint en consideració que aquest és un projecte final de grau, crec que el valor de sostenibilitat obtingut és acceptable.

## Model conceptual

En aquest projecte s'ha desenvolupat un model que té com a objectiu veure la mobilitat de les persones provocada per aspectes socioeconòmics, el qual està compost per un model demogràfic i un model de mobilitat, ja que no podem observar la mobilitat de les persones en un període de temps sense contemplar la seva evolució demogràfica, com és el creixement o disminució de la població, és a dir naixements i defuncions, o l'estatus econòmic i civil de cada individu que clarament afecten la mobilitat d'un individu.

## Model demogràfic

Com a model demogràfic s'ha agafat com a referent el model ja desenvolupat anteriorment per l'equip d'investigació al que pertanyen els directors, i que està descrit en l'article "*Approaching parallel computing to simulating population dynamics in demography*" [18] i s'ha modificat per adaptar-lo ha les necessitats del projecte.

El model demogràfic està compost per diferents components, com són la fertilitat, la mortalitat, l'estatus econòmic i civil.

## Fertilitat

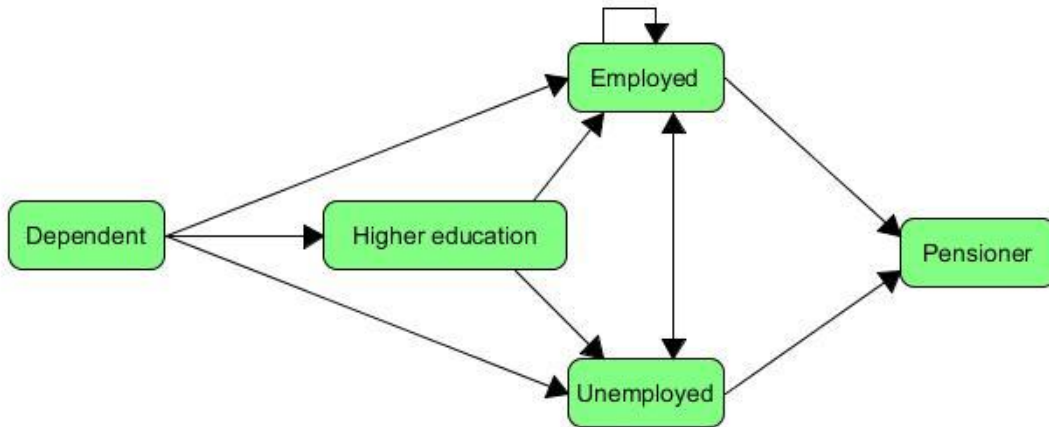
Per modelitzar la fertilitat s'ha decidit aplicar un model de fertilitat específic per edat, és a dir, s'utilitza l'edat de les dones per determinar la probabilitat de tenir un fill, independentment de l'estat econòmic, de l'estat civil i de la quantitat de fills que ja té.

## Mortalitat

Per modelitzar la mortalitat s'ha decidit utilitzar les taules de vida, les quals descriuen la probabilitat de què un individu mori segons el seu sexe i edat.

## Estat econòmic

Per modelitzar l'estat econòmic d'un individu s'ha utilitzat un diagrama de transicions, veure *Figura 1: diagrama de transicions de l'estat econòmic*.



*Figura 1: diagrama de transicions de l'estat econòmic.*

Un individu té l'estat dependent quan és menors de setze anys, el qual no es poden valer econòmicament per si sols.

Un individu té l'estat employed quan és major o igual a setze anys i és empleat.

Un individu té l'estat higher education quan té setze o més anys i està cursant estudis de grau superior, els quals són, estudis del batxillerat, estudis universitaris, formació professional, mòduls de grau mitja i superior, màsters, entre d'altres.

Un individu té l'estat unemployed quan és major o igual a setze anys i és desempleat.

Un individu té l'estat pensioner quan és major o igual a seixanta-cinc anys.

## Estat civil

Per modelitzar l'estat civil d'un individu també s'ha utilitzat un diagrama de transicions, veure *Figura 2: diagrama de transicions de l'estat civil*.



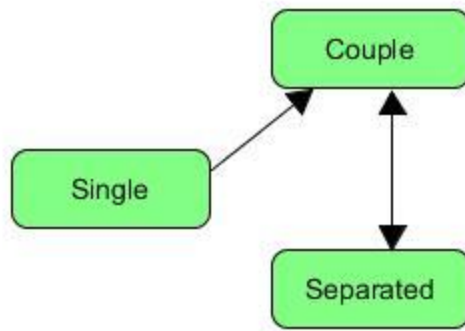


Figura 2: diagrama de transicions de l'estat civil.

Un individu té l'estat single quan és solter.

Un individu té l'estat couple quan està casat o quan cohabita amb la seva parella.

Un individu té l'estat separated quan és vidu/a o quan està divorciat o separat.

## Model de mobilitat

Primerament s'ha de distingir entre la mobilitat exterior (internacional) i la mobilitat interior (domèstica).

Posant un exemple, la mobilitat exterior d'un país es produeix quan un individu emigra o immigra d'un país a un altre, mentre que la mobilitat interior d'un país es produeix quan un individu es mou d'una regió a una altra dins del mateix país.

Per això s'ha dividit el model de mobilitat en dos components, mobilitat exterior i mobilitat interior.

### Mobilitat exterior

Les emigracions i immigracions exteriors es modelitzen a través del càlcul de la probabilitat que un individu emigri o immigri.

### Mobilitat interior

Per modelitzar les migracions interiors, s'apliquen una sèrie de criteris a cada individu i segons aquests criteris l'individu es mourà o no a una nova regió.

Els criteris són els següents:

- mobilitat per estudis
- mobilitat per feina (i per millora de les condicions de vida)
- mobilitat per formació de parella sentimental

## Implementació del model en Netlogo

En la realització d'aquest projecte s'ha implementat el model conceptual descrit posteriorment en la plataforma de simulació anomenada Netlogo [22].

Els agents o *turtles* representen els individus de la població i les cel·les o *patches* representen les regions.

Un agent està definit pel seu gènere, la seva edat, el seu estat civil, el seu nivell educatiu, el seu estat econòmic i el seu nombre de fills. Veure *Figura 3: Implementació d'un agent*.

```
turtles-own [  
  isMale?           ; sexe  
  age               ; edat  
  lookingForCouple? ; estat civil  
  socialRelations  
  haveHigherEducation? ; nivell educatiu  
  economicStatus    ; estat economic  
  economicStatusTakePlaceIn  
  familyEducationCenterIn  
]  
; estat civil  
undirected-link-breed [couple-links couple-link]  
couple-links-own [ coupleAge ]  
; nombre de fills  
undirected-link-breed [mother-son-links mother-son-link]
```

*Figura 3: Implementació d'un agent.*

Una regió està definida pel mapa de regions i les seves connexions a altres regions, pel nombre d'individus que poden viure en la regió, pel nombre de llocs de treball situats en la regió, per les seves infraestructures educatives i per un factor que indica la qualitat de les condicions de vida de la regió. Veure *Figura 4: implementació d'una regió*.

```
patches-own [  
  conectedRegions ; mapa de regions i les seves connexions  
  freePeopleSpace ; nombre d'individus que poden viure en la regió  
  freeWorkStations ; nombre de llocs de treball  
  haveEducationCenter? ; infraestructures educatives  
  haveHigherEducationCenter?  
  attractionNumber ; factor que indica la qualitat de les  
  ; condicions de vida de la regió  
]
```

*Figura 4: implementació d'una regió.*

Aquest factor, que determina les condicions de vida de cada regió, engloba tant a la quantitat i qualitat dels serveis de transport públics i privats, com a la quantitat de centres esportius, d'oci, comercials... com la qualitat de la convivència veïnal, entre d'altres. Com més elevat sigui aquest factor, més atractiva és aquella regió pels individus a l'hora de decidir a quina regió es mouen.

Vist des d'un punt de vista més abstracte, les regions formen un graf bidireccional amb pesos a les arestes, els quals signifiquen el temps que es triga en anar des d'una regió fins a un altre.

La implementació s'ha dividit en els mateixos components que el model conceptual, més els dos procediments necessaris per a executar la simulació del model, que són el setup i el go.

## Fertilitat

S'ha implementat la fertilitat seguint el procés descrit en el model conceptual. La probabilitat que una dona tingui un fill segons la seva edat s'ha extret de les "*Tablas de mortalidad*" de l'any 2015 publicades per l'Institut Nacional de Estadística (INE) [19]. Veure *Figura 5: Taxa de fecunditat Espanya 2015*.

Taxa de fecunditat Espanya 2015

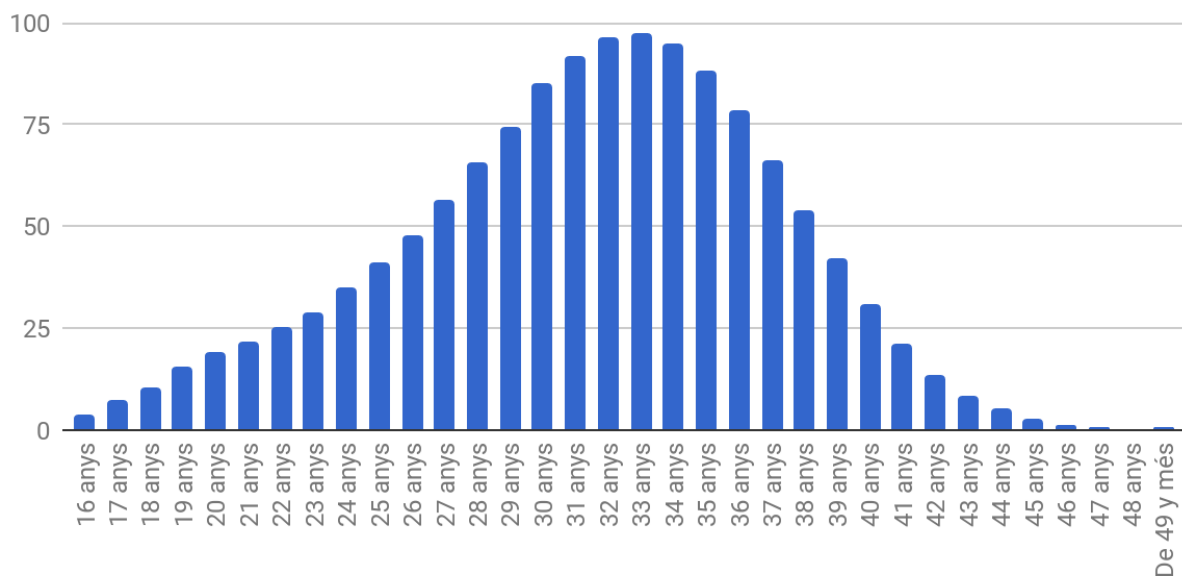


Figura 5: Taxa de fecunditat Espanya 2015.

Font: "*Tablas de mortalidad*" 2015 INE.

## Mortalitat

S'ha implementat la mortalitat seguint el procés descrit en el model conceptual. La probabilitat que un individu mori segons el seu sexe i edat s'ha extret de les "Tablas de mortalidad" de l'any 2015 publicades per l'Instituto Nacional de Estadística (INE). Veure Figura 6: Taxa de mortalitat Espanya 2015.

Taxa de mortalitat Espanya 2015

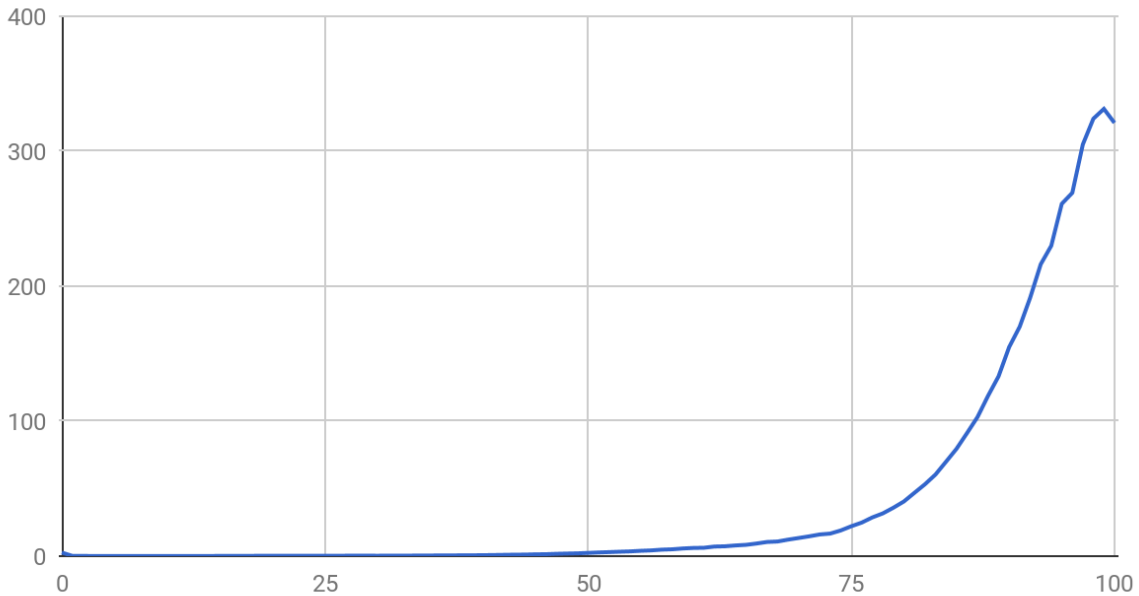


Figura 6: Taxa de mortalitat Espanya 2015.  
Font: "Tablas de mortalidad" 2015 INE.

## Estat econòmic

S'ha implementat l'estat econòmic seguint el procés descrit en el model conceptual. A cada tick de la simulació (1 any), és a dir, cada cop que avancem el temps de la simulació, es revisen les transicions de l'estat econòmic per a cada individu, canviant-li l'estat si és necessari. La probabilitat que un individu tingui l'estat unemployed s'ha extret de la taula "Parados por sexo y grupo de edad" de l'any 2015 publicades per l'Instituto Nacional de Estadística (INE). Veure Figura 7: Taxa d'aturats Espanya 2015.

## Taxa d'aturats Espanya 2015

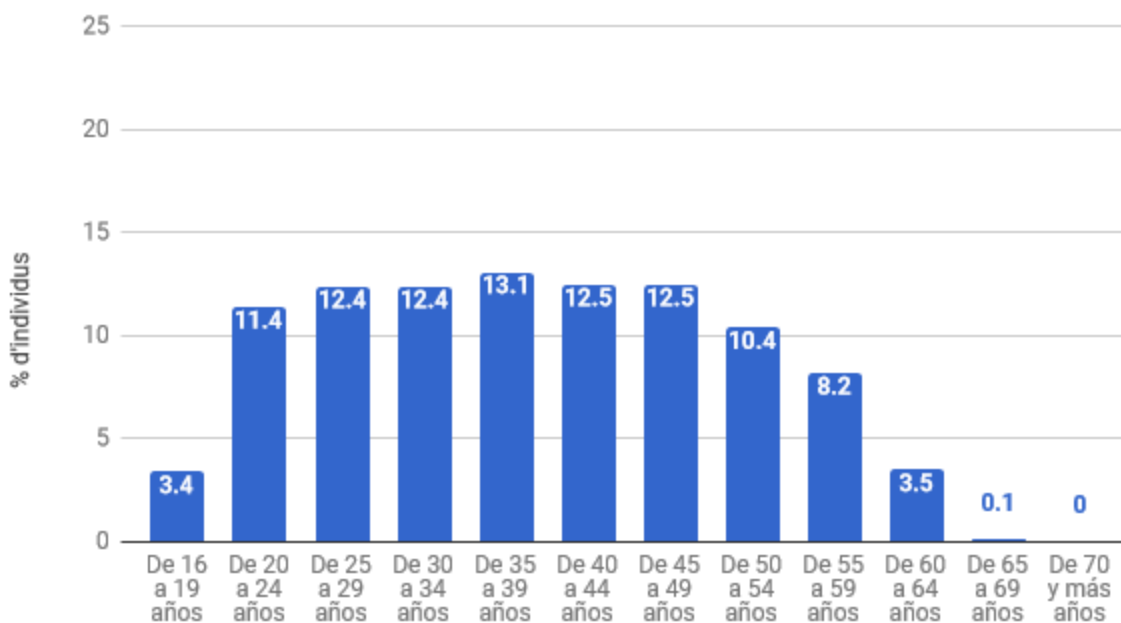


Figura 7: Taxa d'aturats Espanya 2015.

Font: "Parados por sexo y grupo de edad" 2015 INE.

Les transicions de unemployed a employed i de employed a unemployed s'han extret de les taules "*Flujos de personas en el mercado laboral*" de l'any 2015 publicades per l'Instituto Nacional de Estadística (INE). Veure *Taula 9: Transicions d'estat econòmic*.

El nombre d'individus que cursen estudis de grau superior, s'ha determinat segons la probabilitat descrita en l'article "*Sistema estatal de indicadores de la educación*" referent al curs educatiu 2013-2014, ja que no s'han trobat dades més recents, publicat per ministeri d'educació del govern Espanyol. Veure *Taula 9: Transicions d'estat econòmic*.

El nombre d'individus que tenen l'estat employed i canvien de feina s'ha extret de l'article publicat al portal de notícies Bolsamanía [20]. Veure *Taula 9: Transicions d'estat econòmic*.

Transicions	Percentatge d'individus
Unemployed a Employed	21,23 %
Employed a Unemployed	4,16 %
Dependent a Higher education	35,2 %
Employed a Employed	35 %

Taula 9: Transicions d'estat econòmic.

Font: "Flujos de personas en el mercado laboral" 2015 INE i "Sistema estatal de indicadores de la educación" 2013-2014 ministeri d'educació del govern Espanyol.

El nivell educatiu de la població adulta inicial, s'ha calculat tenint en compte el sexe de l'individu seguint la probabilitat descrita en la taula "Nivel de formación de la población adulta" de l'any 2013, ja que no s'han trobat dades més recents, publicada per l'Instituto Nacional de Estadística (INE). Veure Taula 10: Nivell formació de la població inicial.

	Homes	Dones
Percentatge de la població amb estudis superiors	32 %	35,4 %

Taula 10: Nivell formació de la població inicial.

Font: "Nivel de formación de la población adulta" 2013 INE.

## Estat civil

La implementació de l'estat civil és més complicada que la descrita en el model conceptual, ja que s'ha implementat una adaptació. Segons podem veure en la *Figura 8: Implementació de l'estat civil*, per a què un individu tingui parella primer ha de buscar parella, si es compleixen certs criteris com si la parella és del gènere que vol i la parella no té una diferència d'edat de més/menys 10 anys, es crea la parella sinó no.

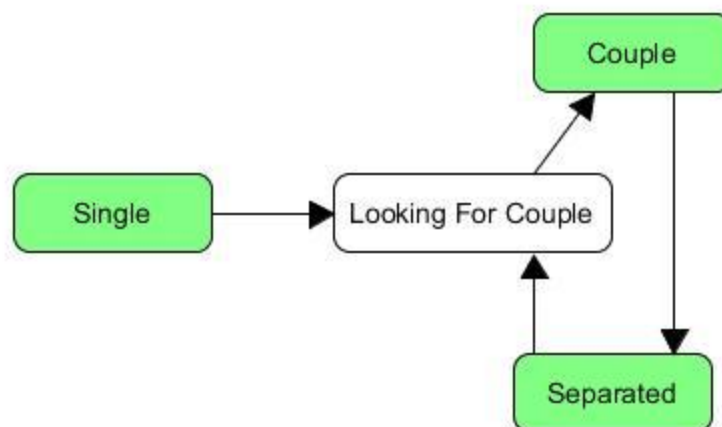


Figura 8: Implementació de l'estat civil

A cada tick de la simulació, és a dir, cada cop que avancem el temps de la simulació (1 any), es revisen les transicions de l'estat civil per a cada individu, canviant-li l'estat si és necessari. Tant la probabilitat de buscar parella, com la probabilitat de ser una parella homosexual o heterosexual s'han extret de la taula "Número de parejas según tipo de unión y sexo de la pareja" de l'any 2015 publicada per l'Institut Nacional de Estadística (INE). Veure Taula 11: Estat civil probabilitat de formar parella i Taula 12: Estat civil tipus de parelles.

<b>Probabilitat de formar parella</b>	48,11 %
---------------------------------------	---------

Taula 11: Estat civil probabilitat de formar parella.

Font: "Número de parejas según tipo de unión y sexo de la pareja" 2015 INE.

<b>Tipus de parelles</b>	<b>Percentatge de parelles</b>
<b>Parella de diferent gènere.</b>	99,17 %
<b>Parella del mateix gènere masculí.</b>	0,47 %
<b>Parella del mateix gènere femení.</b>	0,36 %

Taula 12: Estat civil tipus de parelles.

Font: "Número de parejas según tipo de unión y sexo de la pareja" 2015 INE.

La probabilitat que una parella se separi segons els anys que fa que es va formar la parella s'ha extret de la taula "Nulidades, separaciones y divorcios" de l'any 2015 publicada per l'Institut Nacional de Estadística (INE). Veure Taula 13: Estat civil probabilitat de separar-se.

Any de la parella.	Probabilitat de separar-se.
De 0 a 10 anys	25 %
De 11 a 21 anys	50 %
De 22 a 31 anys	25 %

Taula 13: Estat civil probabilitat de separar-se.

Font: "Nulidades, separaciones y divorcios" 2015 INE

## Mobilitat exterior

S'han implementat les migracions exteriors seguint el procés descrit en el model conceptual.

La probabilitat que un individu emigri s'ha extret de la taula "*Flujo de emigración con destino al extranjero*" de l'any 2015 publicada per l'Institut Nacional de Estadística (INE). Veure *Taula 14: Percentatges d'emigracions i immigracions*.

La quantitat d'individus nous que immigren a una regió escollida aleatòriament s'ha extret de la taula "*Flujo de inmigración procedente del extranjero*" de l'any 2015 publicada per l'Institut Nacional de Estadística (INE). Veure *Taula 14: Percentatges d'emigracions i immigracions*.

	Percentatge* d'individus
Emigren	73,75
Immigren	73,37

Veure *Taula 14: Percentatges d'emigracions i immigracions*.

\* Percentatge per 100000

Font: "*Flujo de emigración con destino al extranjero*" i "*Flujo de inmigración procedente del extranjero*" 2015 INE

## Mobilitat interior

### Mobilitat per estudis

El procés de mobilitat per estudis s'ha subdividit en dos casos.

El primer cas s'aplica a tots els menors de 16 anys que estan cursant l'escolarització obligatòria.

La variable `student-family-maximum-transport-time` representa el temps que un individu està disposat a fer cada dia per anar al seu centre educatiu.

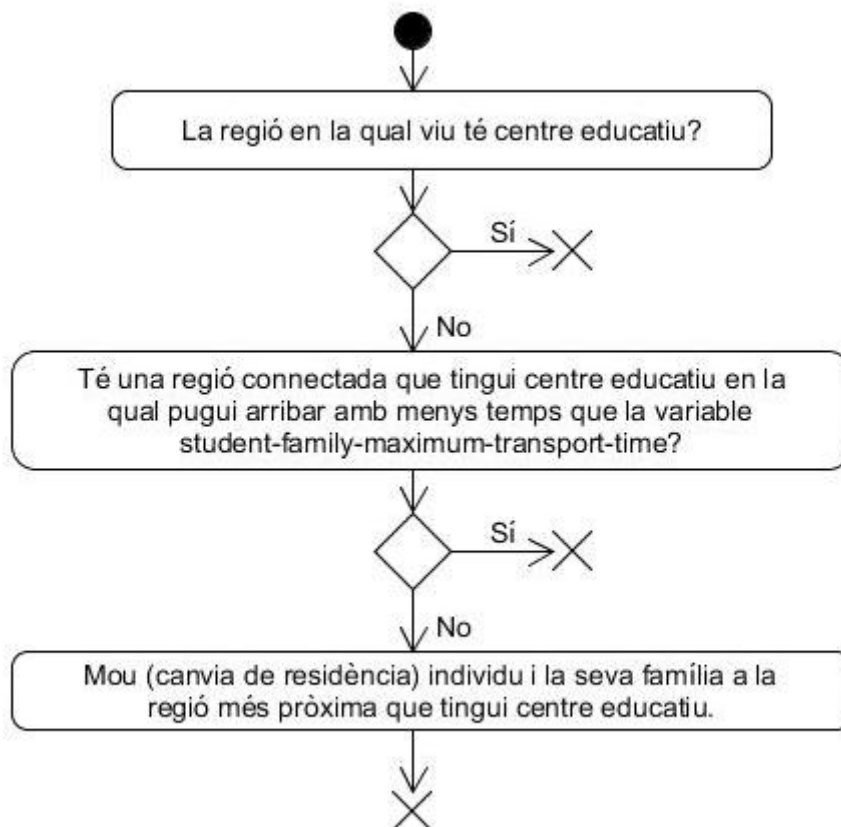
Aquests individus necessiten tenir un centre educatiu al qual puguin arribar amb menys o igual temps del descrit a la variable `student-family-maximum-transport-time`, donat que aquests individus estan cursant l'escolarització obligatòria. Per satisfer aquesta necessitat s'han



descriu una sèrie de decisions. Veure *Figura 9: Implementació de la mobilitat per estudis*.

Primerament mirem si podem assignar un centre educatiu a l'individu sense haver de canviar-lo de regió, és a dir, mirem si la regió a la qual l'individu viu té centre educatiu o si hi ha alguna regió pròxima que tingui centre educatiu, la qual l'individu arribi amb menys o igual temps del descrit a la variable `student-family-maximum-transport-time`.

Si no hem trobat cap regió que compleixi els requisits anteriors, movem a l'individu i a la seva família a una regió on sí que es compleixin els requisits anteriors.



*Figura 9: Implementació de la mobilitat per estudis*

El segon cas s'aplica a tots els individus que estan cursant estudis de grau superior.

La variable `higher-education-student-maximum-transport-time` representa el temps que un individu està disposat a fer cada dia per anar al seu centre educatiu superior.

Aquests individus necessiten tenir un centre educatiu de grau superior al qual puguin arribar amb menys o igual temps del descrit a la variable `higher-education-student-maximum-transport-time`. Per satisfer aquesta necessitat s'han descrit una sèrie de decisions. Veure *Figura 10: Implementació de la mobilitat per estudis de grau superior*.

Com en el cas anterior, primerament mirem si podem assignar un centre educatiu de grau superior a l'individu sense haver de canviar-lo de regió, és a dir, mirem si la regió a la qual l'individu viu té centre educatiu de grau superior o si hi ha alguna regió pròxima que tingui centre educatiu de grau superior, la qual l'individu arribi amb menys o igual temps del descrit a

la variable `higher-education-student-maximum-transport-time`.

Si no hem trobat cap regió que compleixi els requisits anteriors, movem a l'individu i a la seva família a una regió on sí que es compleixin els requisits anteriors.

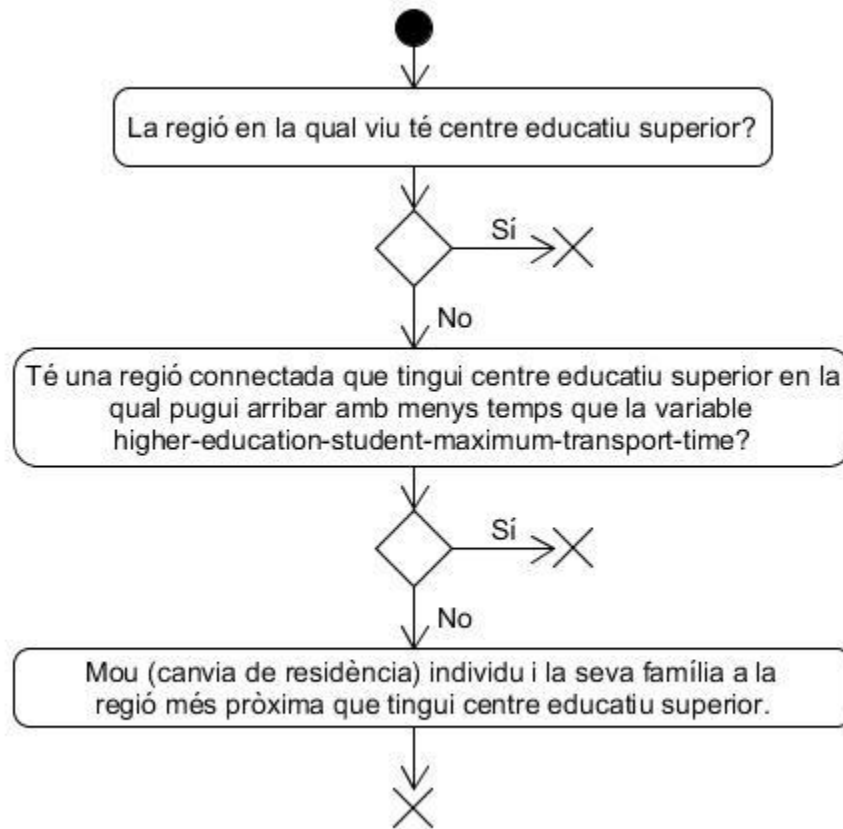


Figura 10: Implementació de la mobilitat per estudis de grau superior.

## Mobilitat per feina

El procés de mobilitat per feina s'ha subdividit en dos casos.

S'ha definit la variable `work-maximum-transport-time` que representa el temps que un individu està disposat a fer cada dia per anar al seu lloc de treball.

El primer cas s'aplica a tots els individus que tenen l'estat `unemployed` i els hi toca canviar a l'estat `employed` (d'aturats a empleats).

Aquests individus necessiten tenir un lloc de treball al qual puguin arribar amb menys o igual temps del descrit a la variable `work-maximum-transport-time`. Per satisfer aquesta necessitat s'han descrit una sèrie de decisions. Veure *Figura 11: Implementació de la mobilitat per feina*.

Primerament mirem si podem assignar un lloc de treball a l'individu sense haver de canviar-lo de regió, és a dir, mirem si la regió a la qual l'individu viu té algun lloc de treball lliure o si hi ha

alguna regió pròxima que en tingui, en la qual l'individu arribi amb menys o igual temps del descrit a la variable `work-maximum-transport-time`.

Seguidament, si no hem trobat cap regió que compleixi els requisits anteriors, busquem si hi ha una regió la qual sigui més atractiva per l'individu i tingui: lloc de treball lliure, suficient espai perquè l'individu i la seva família puguin viure i si l'individu té fills i/o parella aquests l'han d'acceptar. Els fills accepten una nova regió si se'ls hi pot assignar un centre educatiu el qual puguin arribar amb menys o igual temps al descrit a la variable `student-family-maximum-transport-time`. La parella accepta si té l'estat pensioner o `unemployed`, però si té l'estat `employed`, només accepta si se l'hi pot assignar un lloc de treball el qual hi pugui arribar amb menys o igual temps a la variable `work-maximum-transport-time`, i finalment si la parella té l'estat `higher education`, només accepta si se l'hi pot assignar un centre educatiu de grau superior el qual hi pugui arribar amb menys o igual temps al descrit a la variable `higher-education-student-maximum-transport-time`.

En el cas que no hi hagi cap regió més atractiva que compleixi els requisits descrits anteriorment, busquem la regió més pròxima que sí que compleixi els requisits, independentment del factor d'atracció de la nova regió.

Finalment, si no hem trobat cap regió que compleixi els requisits, canviem l'estat de l'individu a `unemployed` sense canviar-lo de regió.

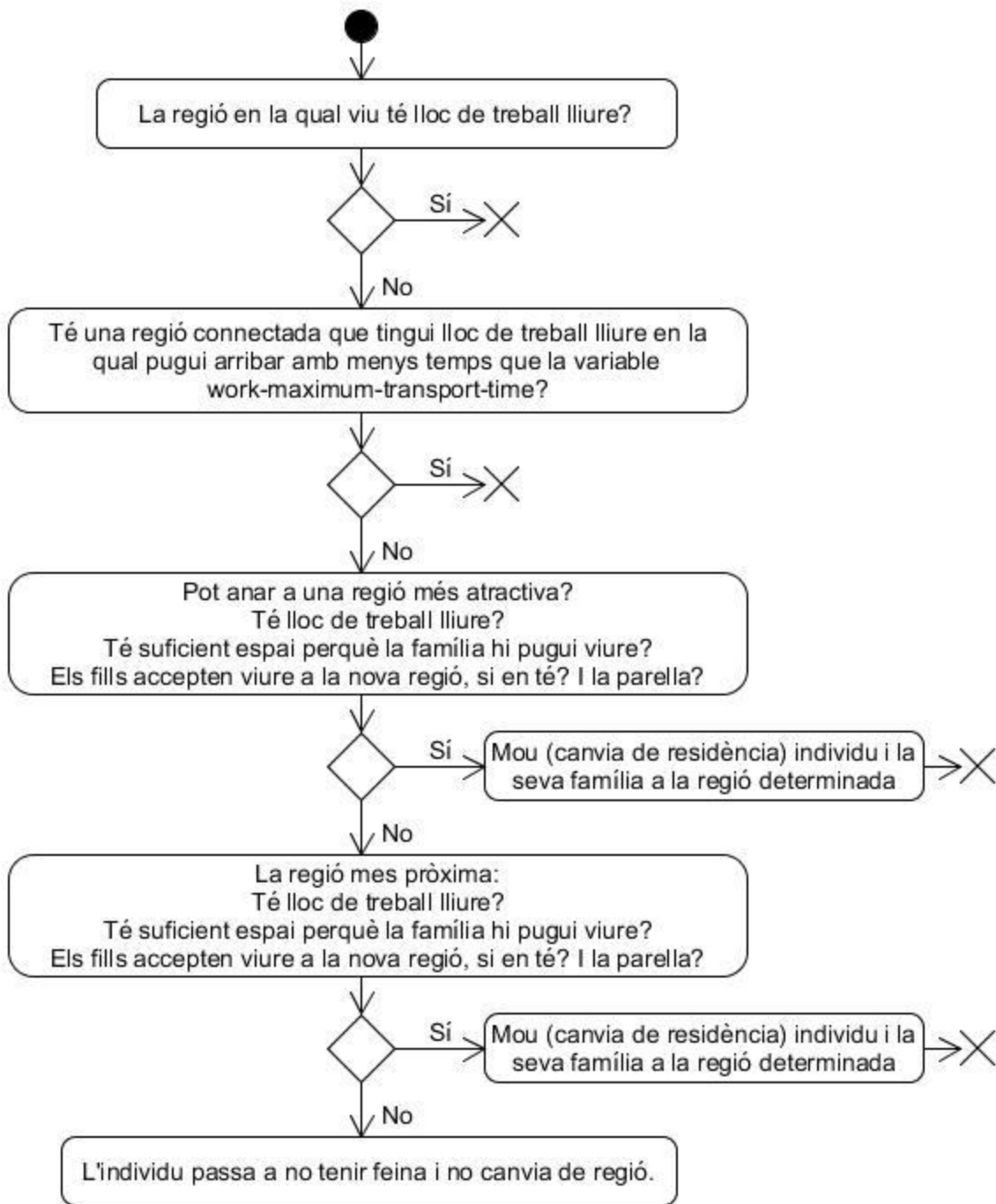


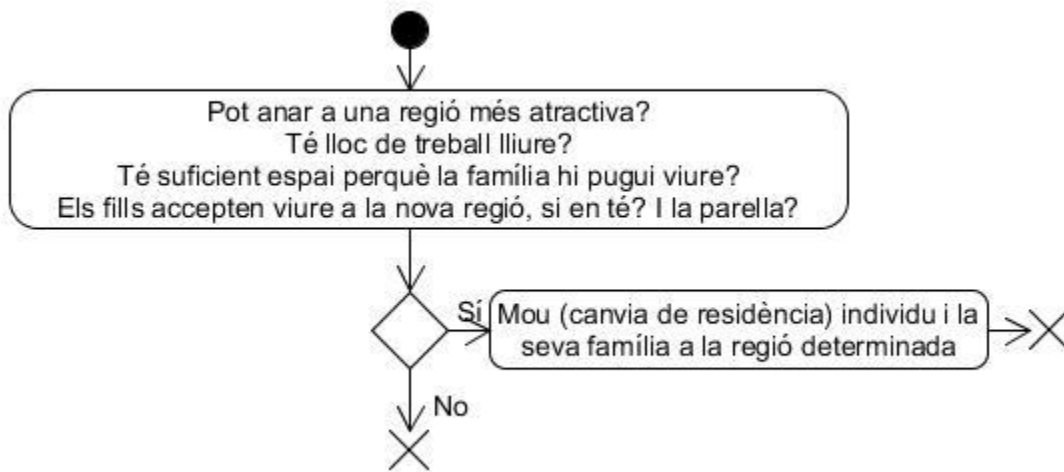
Figura 11: Implementació de la mobilitat per feina.

El segon cas s'aplica a tots els individus que ja tenen feina però busquen una altra feina en una regió més atractiva.

Com en el cas anterior, aquests individus necessiten tenir un lloc de treball al qual puguin

arribar amb menys o igual temps del descrit a la variable `work-maximum-transport-time`. Per satisfer aquesta necessitat s'han descrit una sèrie de decisions. Veure *Figura 12: Implementació de la mobilitat per nova feina*.

Només canviarem a l'individu i a la seva família de regió si la nova regió compleix els següents requisits: la nova regió és més atractiva que la regió en la qual l'individu viu actualment, la nova regió té lloc de treball lliure, la nova regió té espai suficient perquè la família hi pugui viure i si els fills i/o parella de l'individu accepten la nova regió.



*Figura 12: Implementació de la mobilitat per nova feina.*

## Mobilitat per formació de parella sentimental

La mobilitat per formació de parella sentimental s'aplica en el cas que es formi una parella i els seus integrants resideixin en regions diferents i es pot definir com una sèrie de decisions descrita en la *Figura 13: Implementació de la mobilitat per formació de parella sentimental*.

S'ha decidit que les parelles prioritzen evitar que els fills canviïn de regió. Per això primer es compara quin membre de la parella té menys fills a càrrec seu i és aquest individu el que canvia de regió. En el cas que els dos individus que formen la parella tinguin el mateix nombre de fills, es compara el factor d'atracció de les regions en les quals viuen. L'individu que visqui en la regió amb menor factor d'atracció és el que canviarà de regió i alhora millora les seves condicions de vida. Si les dues regions tenen el mateix factor d'atracció, s'escull aleatòriament un membre de la parella i és aquest el que canvia de regió.

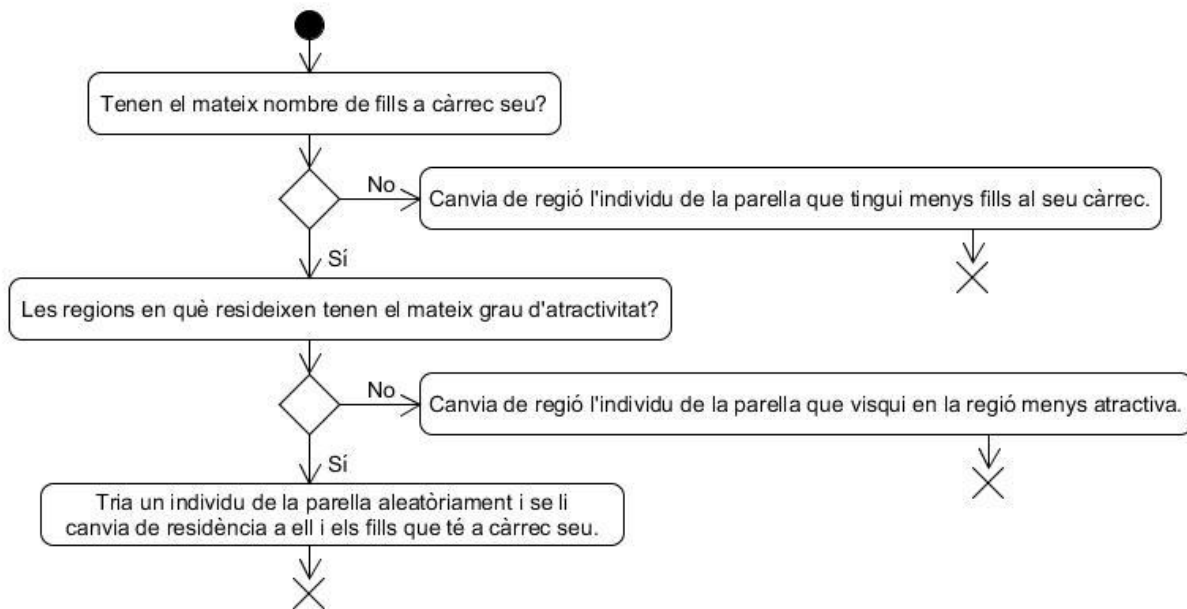


Figura 13: Implementació de la mobilitat per formació de parella sentimental.

## Setup

Aquest component és el primer que s'executa, ja que inicialitza la població i l'escenari inicials, a través de les inicialitzacions de totes les variables, agents (individus) i *patches* (regions) necessaris, i es comporta de la següent manera. Veure *Figura 14: Implementació del setup*.

Primer inicialitza el món de Netlogo, posant el temps de la simulació a zero. Seguidament llegeix el fitxer d'entrada, el qual el seu contingut s'explica més endavant. Després inicialitza les variables globals del model les quals guarden informació de la mobilitat dels individus. Tot seguit crea els agents inicials, és a dir, crea la població inicial. Un cop ja tenim individus, se'ls hi inicialitza l'estat civil, ja sigui single, couple, separated. Finalment s'inicialitza l'estat econòmic dels individus, canviant-los de regió si és necessari, ja que s'ha de complir que tots els individus que tenen l'estat econòmic dependent han de tenir assignats una regió que tingui un centre educatiu el qual puguin arribar amb menys o igual temps al descrit a la variable `student-family-maximum-transport-time`, el mateix fet succeeix amb els individus que tenen estat econòmic higher education i employed, però amb centre educatiu de grau superior i la variable `higher-education-student-maximum-transport-time` i un lloc de treball lliure i la variable `work-maximum-transport-time`, respectivament.

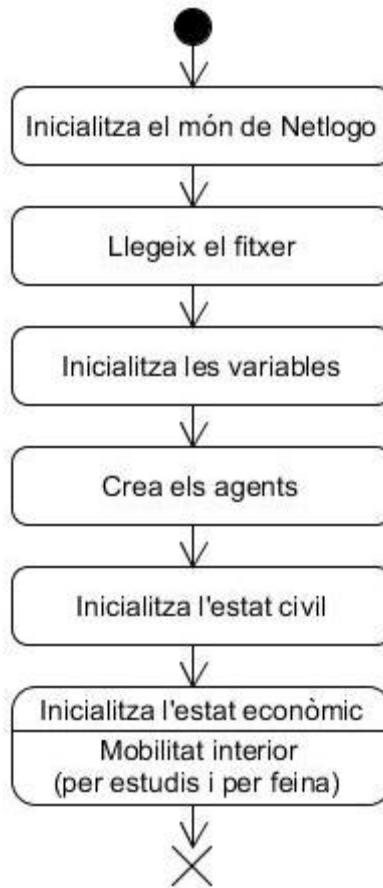


Figura 14: Implementació del setup

S'ha de tenir en consideració que el fitxer que conté dades d'entrada al sistema necessita tenir un format concret.

Com és podem observar en la *Figura 15: Format del fitxer d'entrada*, el fitxer comença amb el nombre de regions, el qual ha de ser un número, comprès entre dos o sis. Seguidament trobem el nombre d'individus que té cada regió inicialment. Després s'escull la distribució d'edat i de gènere dels individus inicials, sigui una distribució aleatòria o una distribució fixada. Tant la distribució fixada de l'edat com a distribució fixada del gènere, s'han extret de la taula "*Población (españoles/extranjeros) por edad (grupos quinquenales), sexo y año*" de l'any 2015 publicada per l'Instituto Nacional de Estadística (INE). Veure *Figura 16: Distribució d'edat inicial* i la *Taula 15: Distribució de gènere inicial*. Tot seguit trobem el mapa de regions, el qual per cada regió ens indica quines regions té connectades i quin és el temps que es triga en anar d'una a l'altre. Després trobem el nombre d'individus que poden viure a cada regió, seguit del nombre de llocs de treball que té cada regió. El fitxer també conte una llista amb les regions que tenen centre educatiu i una altra amb les regions que tenen centre educatiu de grau superior, seguides de les variables `student-family-maximum-transport-time`, `higher-education-student-maximum-transport-time` i `work-maximum-`

transport-time. Finalment trobem el factor d'atracció de cada regió.

```
;; Nombre de regions de [2,6].
3
;; Nombre persones inicials a cada regió, >= 0.
500 ;; regió 1
400 ;; regió 2
400 ;; regió 3
;; 1 utilitza una distribució d'edat aleatòria, 0 utilitza una distribució d'edat fixada.
0
;; 1 utilitza una distribució del sexe de cada individu de forma aleatòria, 0 utilitza una
;; distribució del sexe de cada individu fixada.
0
;; mapa de regions i les seves connexions
;; cada regió (x) té una llista on -1 indica que la regió x no està connectada amb la regió y
;; on y és igual la posició que ocupa en la llista, un valor > 0 indica el temps que es triga
;; d'anar a la regió x a y, i si el valor és 0 indica que les dues regions són la mateixa.
;; (aquesta opció esta pensada per fer front al problema de la sobredimensio d'una regió en
;; entorns de HPC)
[-1 1 1] ;; region 1
[1 -1 -1] ;; region 2
[1 -1 -1] ;; region 3
;; Nombre d'individus que poden viure en cada regió.
2000 ;; region 1
500 ;; region 2
500 ;; region 3
;; Nombre d'individus que poden treballar en cada regió.
3000 ;; region 1
300 ;; region 2
300 ;; region 3
;; Regions que tenen centres educatius, com a mínim una regió.
[1 2 3]
;; Regions que tenen centres educatius de nivell superior.
[1]
;; Valor de la variable student-family-maximum-transport-time > 0.
1
;; Valor de la variable higher-education-student-maximum-transport-time > 0.
1
;; Valor de la variable work-maximum-transport-time > 0.
1
;; Factor que indica la qualitat de les condicions de vida de la regió
10 ;; region 1
5 ;; region 2
5 ;; region 3
```

Figura 15: Format del fitxer d'entrada.



## Distribució d'edat inicial

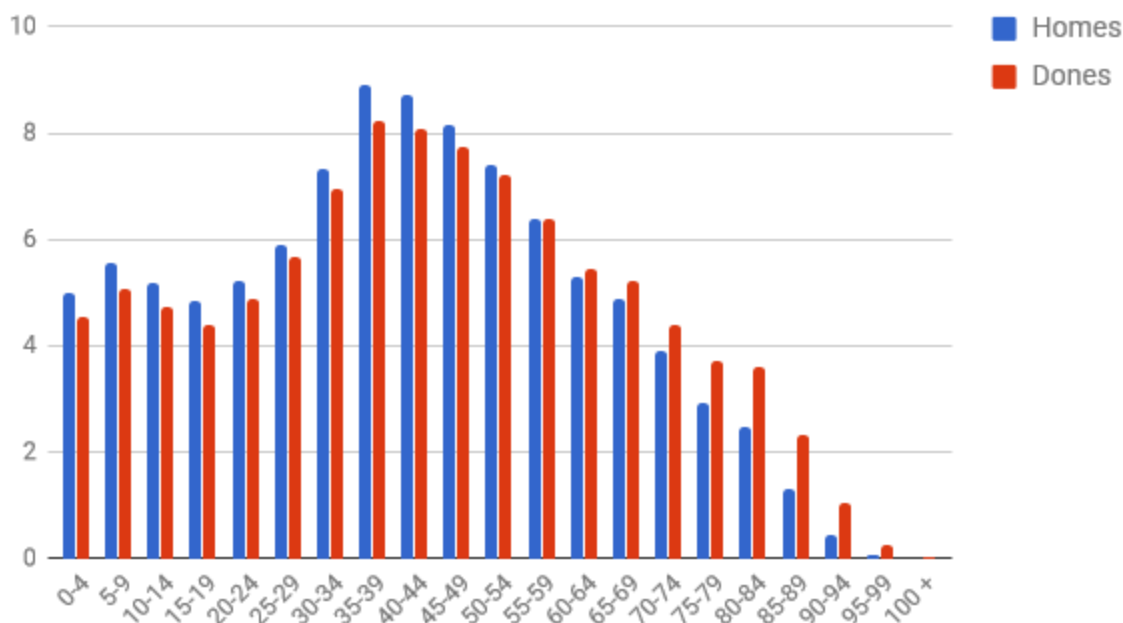


Figura 16: Distribució d'edat inicial.

Font: "Población (españoles/extranjeros) por edad (grupos quinquenales), sexo y año" 2015 INE.

	Percentatge
Homes	49,1 %
Dones	50,9 %

Taula 15: Distribució de gènere inicial.

Font: "Población (españoles/extranjeros) por edad (grupos quinquenales), sexo y año" 2015 INE.

## Go

Aquest component és el que fa avançar el temps en la simulació i comprova si s'ha arribat a les condicions d'acabament, i es comporta de la següent manera.

Com és podem observar en la *Figura 17: Implementació del go*, primerament s'incrementa l'edat dels individus en 1 any. Després calclem el component de mortalitat, per treure feina de càlcul al programa, ja que s'eliminen els agents que moriran. Pel mateix raonament trobem tot seguit el component de mobilitat exterior, ja que s'eliminen els individus que emigren i es creen els que immigren. Després executem els components de fertilitat, estat econòmic i estat civil, cadascun amb el seu respectiu component de mobilitat. Finalment comprovem que la simulació no hagi acabat, o bé perquè ha arribat al nombre d'anys desitjat o perquè no queden individus en cap regió.

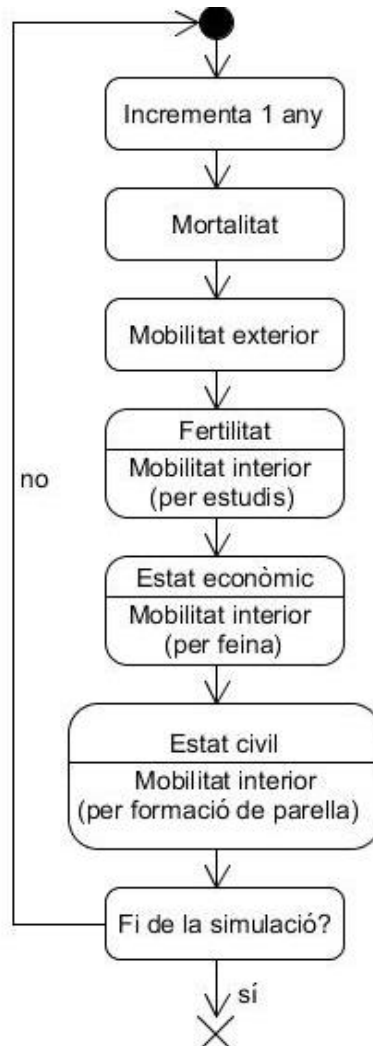


Figura 17: Implementació del go.

## Taula Resum

En aquest projecte s'ha tingut accés als models conceptuals, però no a la seva implementació, del projecte Yades, descrits en l'article "*Approaching parallel computing to simulating population dynamics in demography*" [18]. A continuació es mostra una taula resum on es mostra per cada un dels components del model, quin model conceptual s'ha utilitzat, quins d'ells s'han implementat en aquest projecte i quines dades i fonts de dades s'han utilitzat. Veure *Taula 16: Resum implementació*.

Components	Model conceptual	Implementat en aquest projecte?	Dades i fonts de dades utilitzades
Fertilitat	Simplificació Yades	Sí	INE “ <i>Tablas de mortalidad</i> ” de l’any 2015
Mortalitat	Yades	Sí	INE “ <i>Tablas de mortalidad</i> ” de l’any 2015
Estat econòmic	Ampliació Yades	Sí	INE “Parados por sexo y grupo de edad” i “Flujos de personas en el mercado laboral” de l’any 2015 INE “Nivel de formación de la población adulta” de l’any 2013 Ministeri d’educació del govern Espanyol “Sistema estatal de indicadores de la educación” del curs 2013-2014
Estat civil	Simplificació Yades	Sí	INE “Número de parejas según tipo de unión y sexo de la pareja” i “Nulidades, separaciones y divorcios” de l’any 2015
Mobilitat exterior	Nou model	Sí	INE “Flujo de emigración con destino al extranjero” i “Flujo de inmigración procedente del extranjero” de l’any 2015
Mobilitat interior	Nou model	Sí	-

Taula 16: Resum implementació

## Verificació i validació

La verificació i validació són processos crítics en qualsevol estudi de simulació, ja que ens aporten més confiança en el model, tot i que no és possible demostrar que el model sigui vàlid en tots els contextos.

La verificació és un procés que ens determina si el model conceptual ha estat implementat, en aquest cas, a codi informàtic, correctament. Mentre que la validació és un procés que ens determina si el model és una representació acurada de la realitat en escenaris concrets.

Per verificar es poden utilitzar mètodes de depuració de codi. Mentre que en la validació tenim diversos mètodes, validació del model conceptual, la validació de les dades, la validació de caixa blanca i la validació de caixa negra (Robinson [21]).

En aquest projecte s'ha decidit optar per una adaptació de la validació de caixa blanca, la qual es fixa en els valors d'entrada i de sortida del model, per poder determinar si els resultats del model són suficientment acorats en comparació amb els observats en la realitat amb els mateixos valor d'entrada. Al tenir un model demogràfic ens incorpora una imprecisió en les dades, ja que per exemple en un futur les taxes de fecunditat poden canviar. Per això s'ha

escollit aquest mètode de validació, ja que és un mètode que minimitza l'impacte de la precisió de les dades.

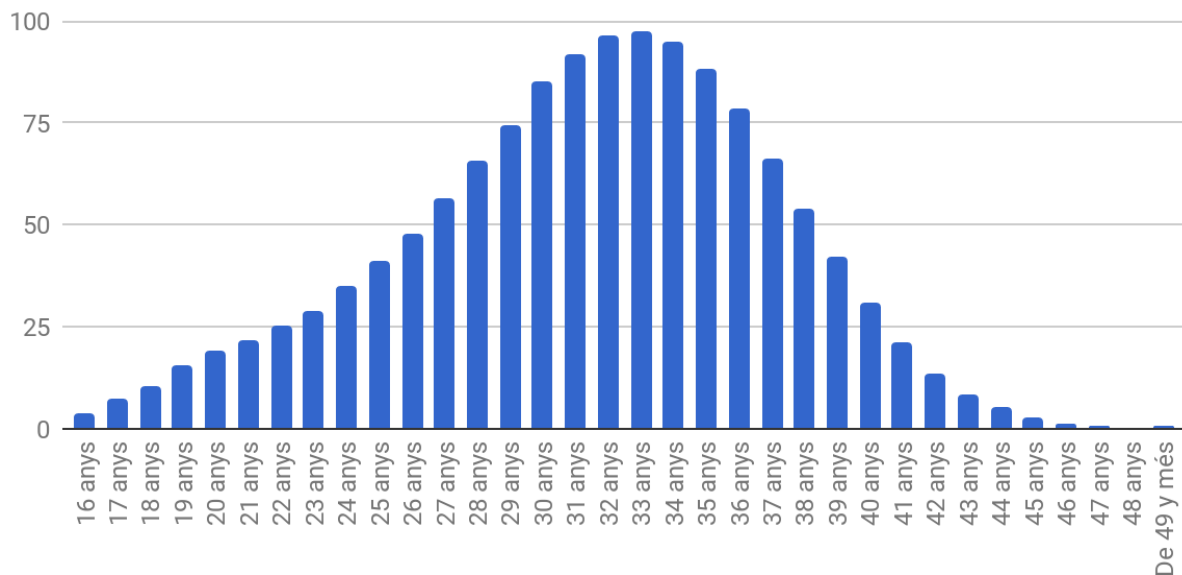
Tots els experiments s'han dut a terme en el portàtil de l'estudiant (Acer Aspire 8943G) utilitzant el sistema operatiu Windows 10.

## Fertilitat

Per validar la fertilitat s'han desactivat la resta de components. De les dades de la taxa de fertilitat de la població Espanyola proporcionades per l'Instituto Nacional de Estadística, podem observar que la taxa de fertilitat segueix una distribució normal entre les dones de 16 a 49 anys. Veure *Figura 18: Taxa de fecunditat Espanya 2015*.

S'ha executat el model 50 vegades, s'ha fet la mitjana dels resultats i podem observar que la taxa de fecunditat obtinguda del model tendeix cap a la distribució normal esperada. Veure *Figura 19: Taxa de fecunditat Model*.

Taxa de fecunditat Espanya 2015



*Figura 18: Taxa de fecunditat Espanya 2015.*  
*Font: "Tablas de mortalidad" 2015 INE.*

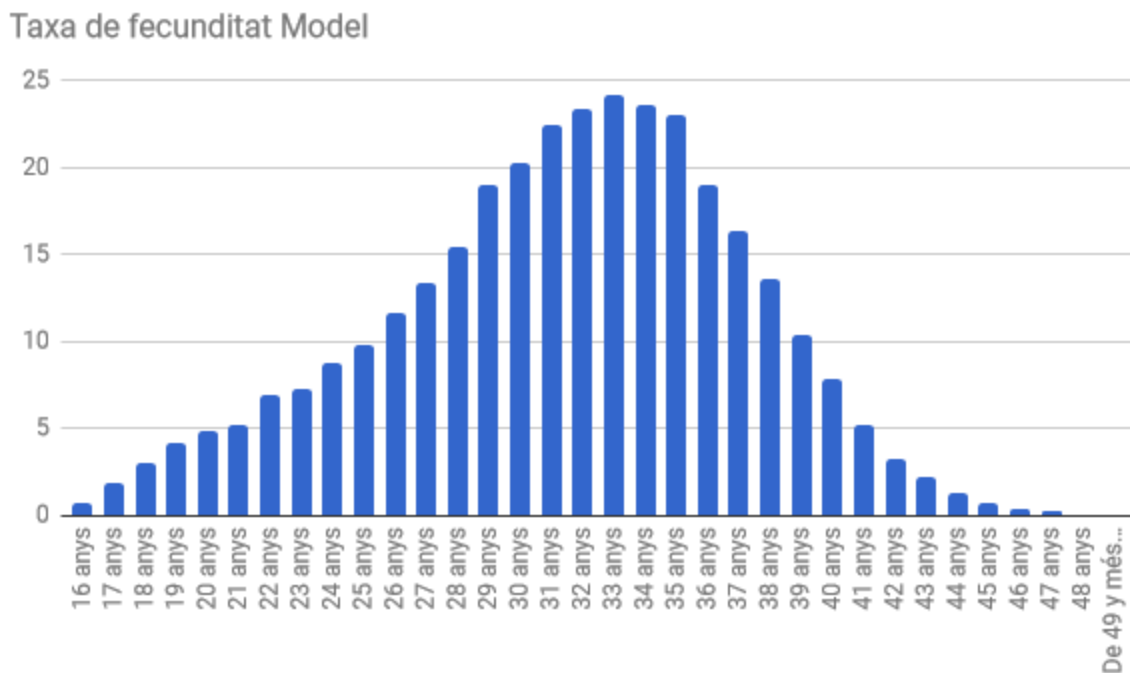


Figura 19: Taxa de fecunditat Model.

## Mortalitat

Per validar la mortalitat s'han desactivat la resta de components. De les dades de la taxa de mortalitat de la població Espanyola proporcionades per l'Institut Nacional de Estadística, podem observar que la taxa de fertilitat segueix una certa distribució. Veure *Figura 20: Taxa de mortalitat Espanya 2015*.

S'ha executat el model 50 vegades, s'ha fet la mitjana dels resultats i podem observar que la taxa de mortalitat obtinguda del model tendeix cap a la mateixa distribució de la taxa de mortalitat Espanyola. Veure *Figura 21: Taxa de mortalitat Model*.

### Taxa de mortalitat Espanya 2015

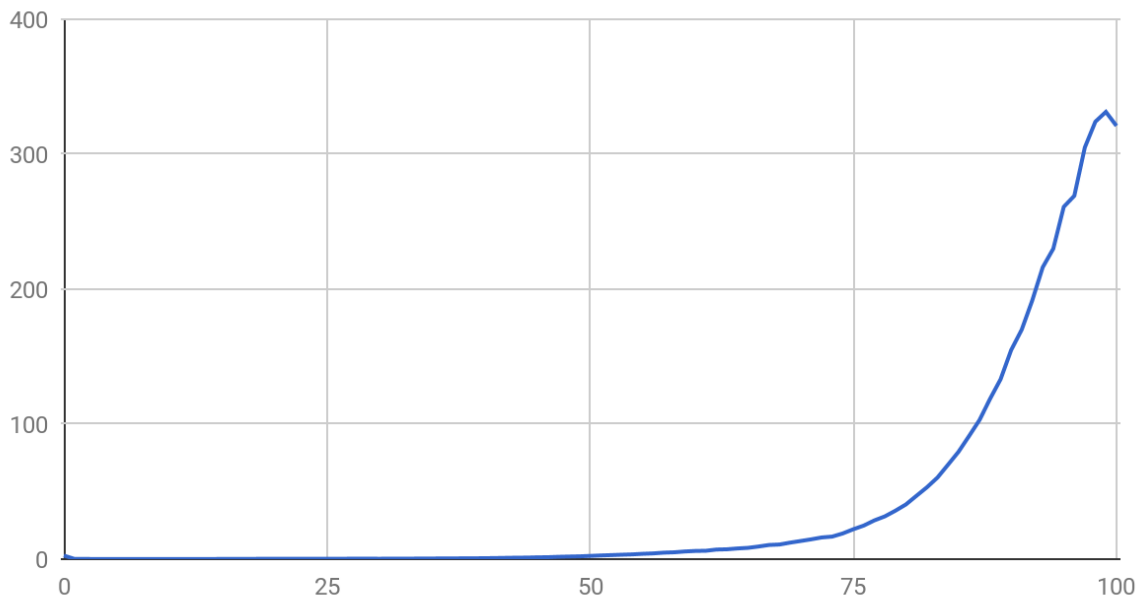


Figura 20: Taxa de mortalitat Espanya 2015.  
Font: "Tablas de mortalidad" 2015 INE.

### Taxa de mortalitat Model

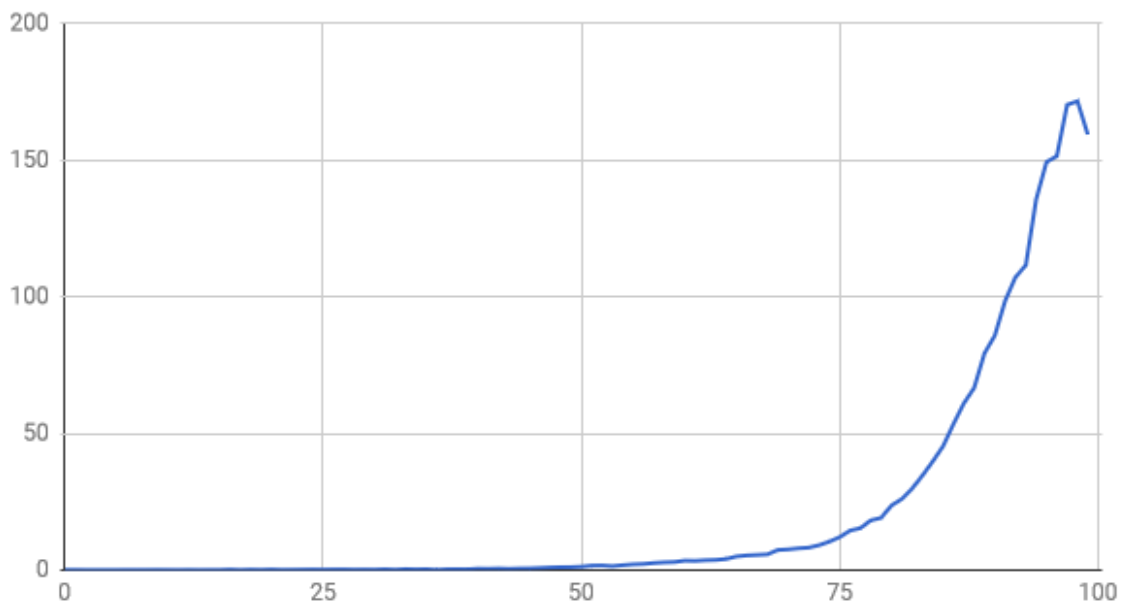


Figura 21: Taxa de mortalitat Model.

## Estat econòmic

Per validar el component de l'estat econòmic, s'han dut a terme dos experiments. En els dos experiments s'ha executat el model cinquanta cops, però en el primer experiment s'ha desactivat el component de la mortalitat.

En el primer experiment, veure *Figura 22: Resultats estat econòmic sense mortalitat*, produeix els resultats esperats, donat que podem observar que el nombre de pensionistes (pensioner) va incrementant al pas dels anys, mentre que disminueix el nombre de desocupats (unemployed), empleats (employed), dependents (dependent) i individus que cursen estudis de grau superior (higher education).

En el segon experiment, veure *Figura 23: Resultats estat econòmic amb mortalitat*, també produeix els resultats esperats, els quals són similars al primer experiment, però amb menys nombre de pensionistes (pensioner) donat que alguns d'aquests individus moriran.

Resultats estat econòmic sense mortalitat

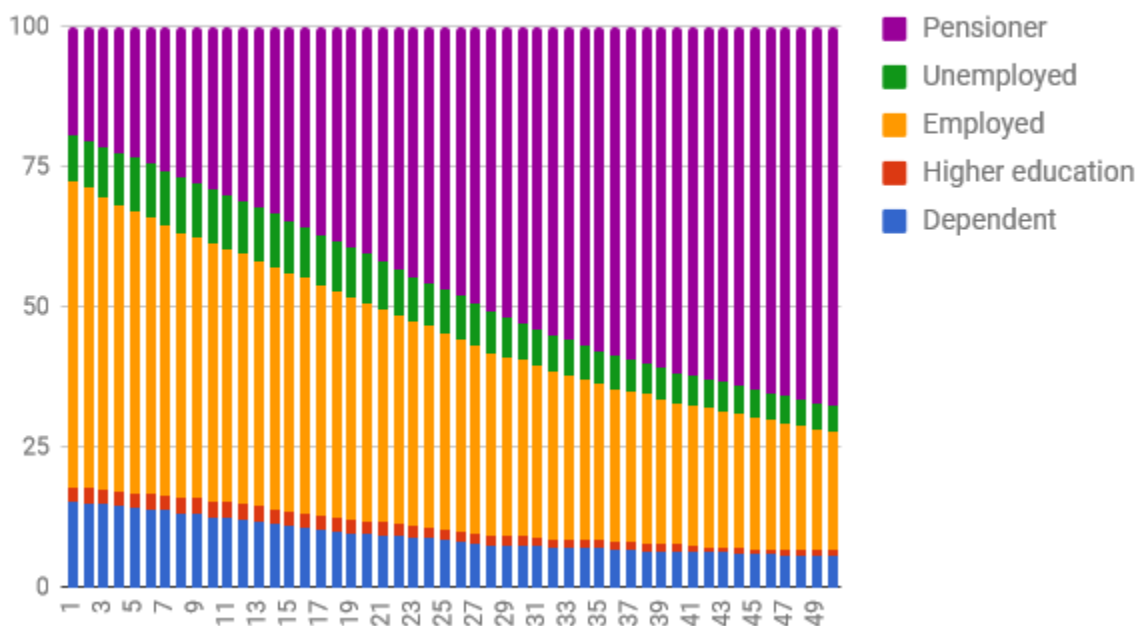


Figura 22: Resultats estat econòmic sense mortalitat.

## Resultats estat econòmic amb mortalitat

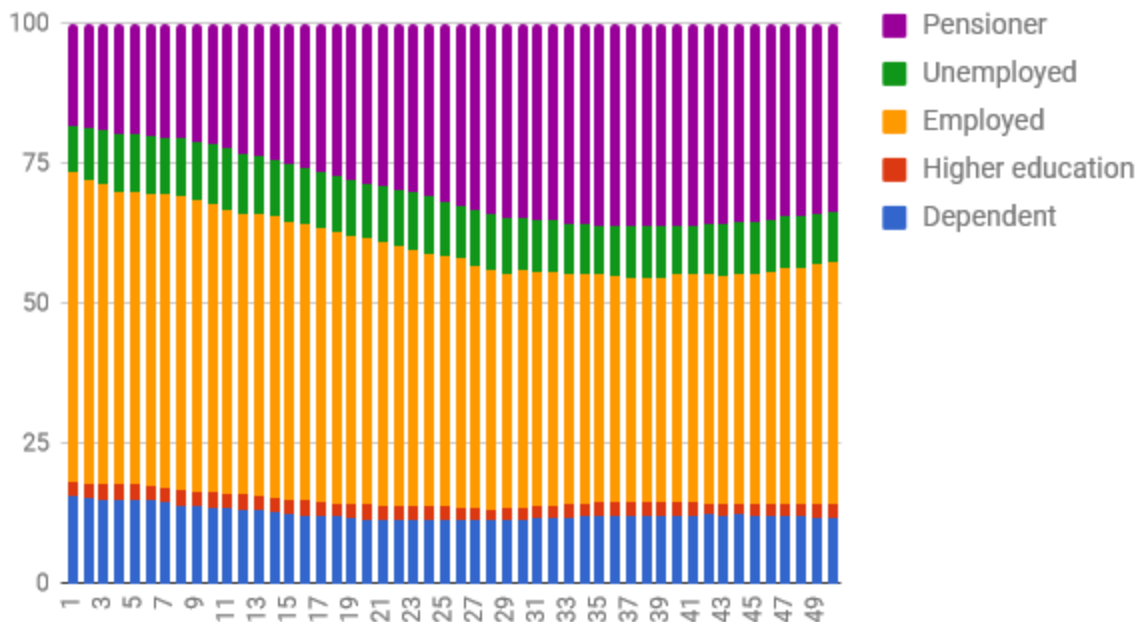


Figura 23: Resultats estat econòmic amb mortalitat.

## Estat civil

Per validar el component de l'estat civil, s'han dut a terme dos experiments. En els dos experiments s'ha executat el model cinquanta cops amb el component de fertilitat desactivat, però en el primer experiment també s'ha desactivat el component de la mortalitat.

En el primer experiment, veure *Figura 24: Resultats estat civil sense mortalitat*, produeix els resultats esperats, donat que podem observar com augmenta el nombre d'individus que tenen parella (couple) i disminueix en nombre de solters (single).

En el segon experiment, veure *Figura 25: Resultats estat civil amb mortalitat*, també produeix els resultats esperats, els quals són similars al primer experiment, però amb més nombre d'individus que tenen l'estat separated, és a dir, en l'experiment anterior no hi havia mortalitat, per tant tots els individus que tenien l'estat separated eren divorciats o separat però cap vidu/a, mentre que en aquest experiment si tenim mortalitat i ara sí que tenim individus vidus/es i aquest fet és el que fa incrementar el nombre d'individus dins la categoria de separated.



### Resultats estat civil sense mortalitat

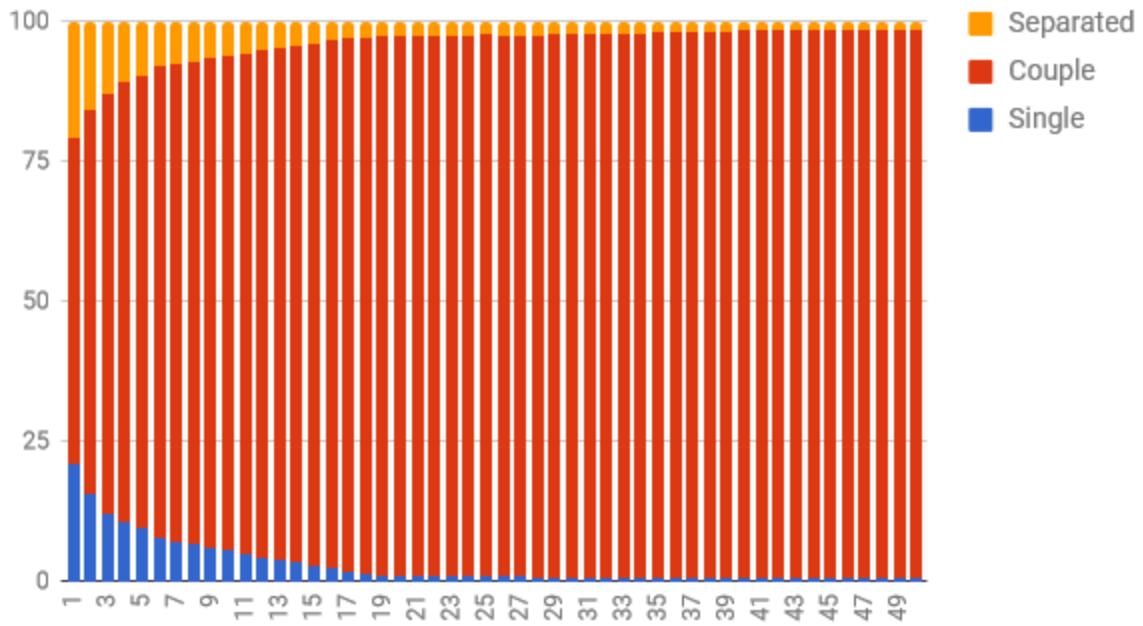


Figura 24: Resultats estat civil sense mortalitat.

### Resultats estat civil amb mortalitat

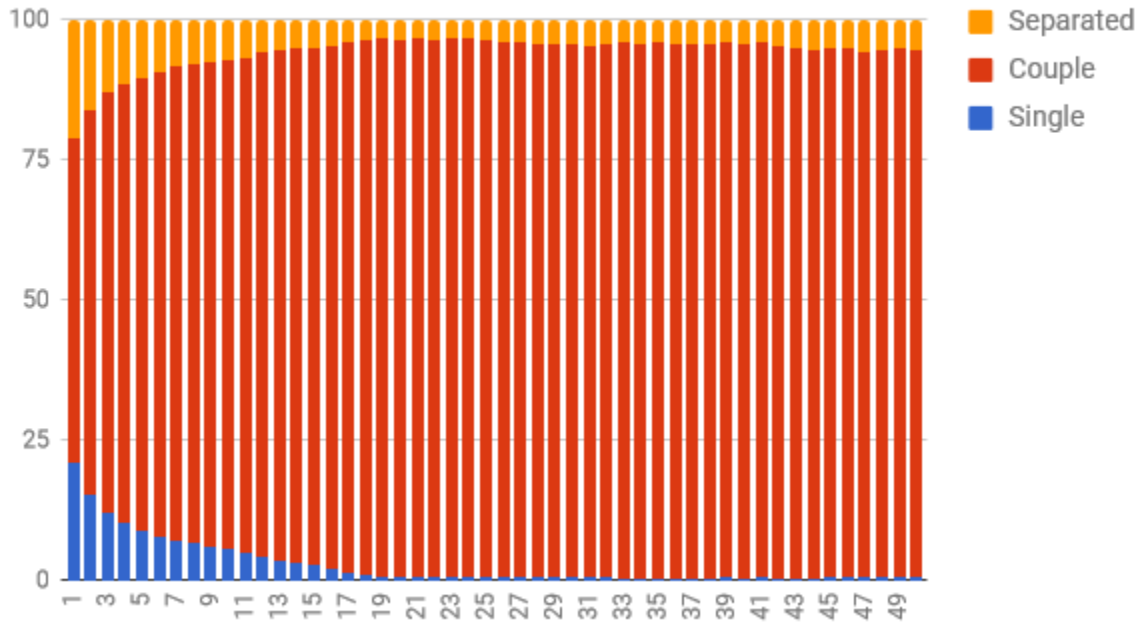


Figura 25: Resultats estat civil amb mortalitat.

## Mobilitat exterior

Modelitzar aquest component és difícil, ja que el model només té el control de les regions que estudia i per tant no sap què passa a les regions exteriors, fet que dificulta calcular amb precisió els individus que immigren i emigren. Per tant, per simplicitat i manca de dades s'ha decidit que el component de mobilitat exterior esculli de forma aleatòria els individus que emigren i la regió a la qual els nous individus immigraran. Sense cap mena de dubte és un dels components que s'han d'explorar amb més detall de cara a futurs projectes.

## Mobilitat interior

Per validar el component de mobilitat interior, s'han dut a terme diversos experiments, pels tres tipus de mobilitat interna: mobilitat per estudis, mobilitat per feina i mobilitat per formació de parella sentimental, els quals s'han executat sobre determinats escenaris.

### Mobilitat per estudis

L'escenari utilitzat, veure *Figura 26: Escenari resultats de la mobilitat per estudis*, consta de 4 regions. La regió 1 és l'única que té centre d'estudis superior i la regió 3 és l'única que té centre d'estudis obligatoris. Totes les regions estan connectades entre elles i el temps per anar d'una regió a l'altre es pot veure en el pes de l'aresta. Totes les regions, també tenen els mateixos valors a la resta de factors: 90.000 llocs de treball, 90.000 individus poden viure a cada regió i el factor d'atracció a cada regió és 10. Inicialment cada regió té 2.000 individus. Tant l'edat com el gènere dels individus inicials es calculen aleatòriament. El nombre d'individus menors de setze anys, que són els que estan cursant l'escolarització obligatòria es pot veure en la *Taula 17: Nombre d'individus menors de setze anys de cada regió inicialment*. Mentre que el nombre d'individus que cursen estudis de grau superior inicialment es pot veure en la *Taula 18: Nombre d'individus que cursen estudis de grau superior inicialment*.

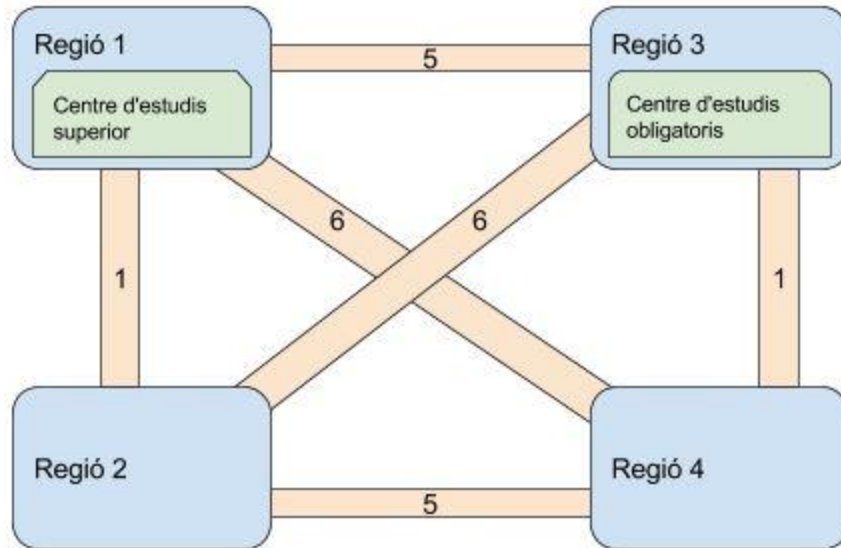


Figura 26: Escenari resultats de la mobilitat per estudis.

Regió	Nombre d'individus menors de setze anys
Regió 1	307
Regió 2	312
Regió 3	307
Regió 4	310

Taula 17: Nombre d'individus menors de setze anys de cada regió inicialment.

Regió	Nombre d'individus que cursen estudis de grau superior
Regió 1	45
Regió 2	44
Regió 3	39
Regió 4	35

Taula 18: Nombre d'individus que cursen estudis de grau superior inicialment.

Els valors de les variables `student-family-maximum-transport-time` i `higher-education-student-maximum-transport-time` són 1.

Executem 1 any de la simulació, no executem durant més anys, ja que tots els estudiants, tant d'escolarització obligatòria com els d'estudis de grau superior, necessiten viure en una regió la qual l'estudiant arribi al seu centre educatiu o al seu centre educatiu de grau superior amb

menys o igual temps del descrit a la variable `student-family-maximum-transport-time` o `higher-education-student-maximum-transport-time`, respectivament.

En la *Figura 27: Flux d'estudiants menors de setze anys*, podem observar com tots els estudiants menors de setze anys de les regions 1 i 2 han canviat de regió, migrant cap a la regió 3 que té centre educatiu i a més té suficient espai perquè hi visquin tots aquests nous estudiants i les seves famílies.

En la *Figura 29: Resultats de mobilitat per estudis obligatoris*, podem observar la quantitat d'estudiants menors de setze anys que viuen en cada regió. S'ha de destacar que els estudiants menors de setze anys de la regió 4 no han migrat, ja que se'ls hi ha assignat el centre educatiu de la regió 3, el qual està a distància 1 que és igual que la variable `student-family-maximum-transport-time`.

El mateix fet passa amb els estudiants d'estudis de grau superior, però aquest cop els estudiants d'estudis de grau superior de les regions 3 i 4 migren cap a la regió 1, la qual té centre d'estudis superiors, com es pot observar en la *Figura 30: Flux d'estudiants d'estudis de grau superior*.

En la *Figura 32: Resultats de mobilitat per estudis de grau superior*, també podem observar que els estudiants de la regió 2 no han migrat, ja que se'ls hi ha assignat el centre educatiu d'estudis superiors de la regió 1, el qual està a distància 1 que és igual que la variable `higher-education-student-maximum-transport-time`.



*Figura 27: Flux d'estudiants menors de setze anys.*



*Figura 28: Flux d'estudiants i les seves famílies menors de setze anys.*

## Resultats de mobilitat per estudis obligatoris

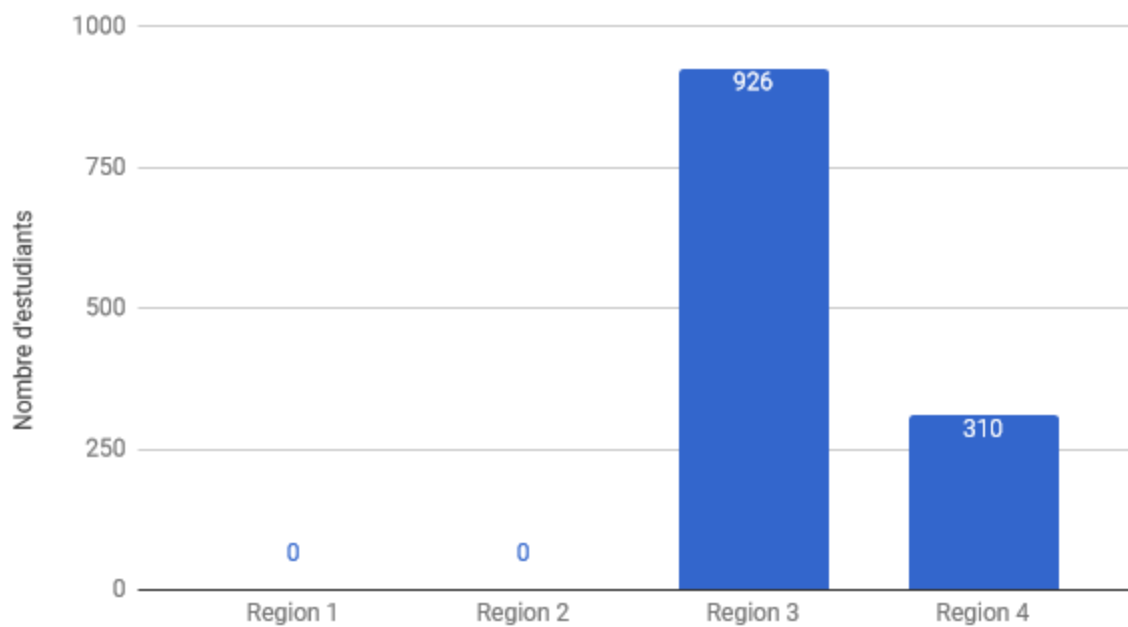


Figura 29: Resultats de mobilitat per estudis obligatoris.

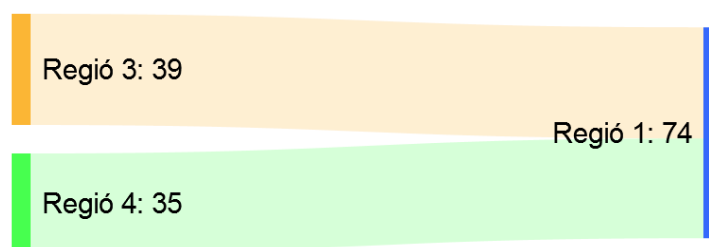


Figura 30: Flux d'estudiants d'estudis de grau superior.

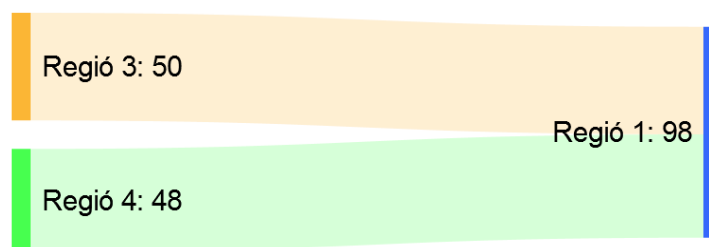


Figura 31: Flux d'estudiants d'estudis de grau superior i les seves famílies.

### Resultats de mobilitat per estudis de grau superior

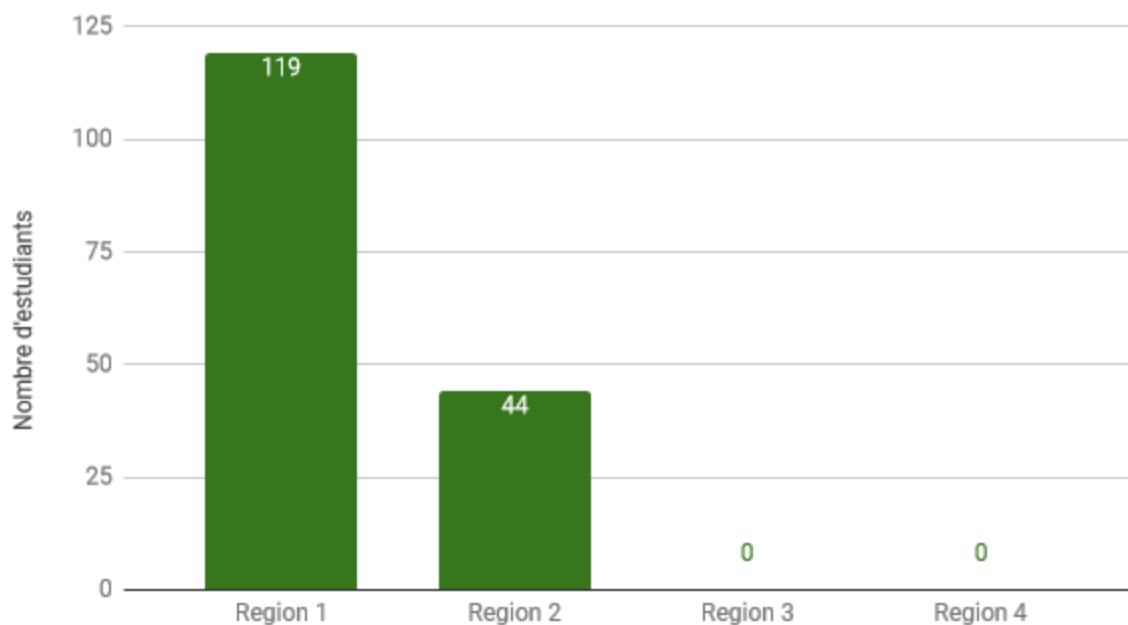


Figura 32: Resultats de mobilitat per estudis de grau superior.

Repetim l'experiment amb el mateix escenari, però aquest cop posem que en la regió 3 hi poden viure 2.100 individus i en la regió 1 2.020 individus. Com en l'experiment anterior, tant l'edat com el gènere dels individus inicials es calculen aleatòriament. El nombre d'individus menors de setze anys, que són els que estan cursant l'escolarització obligatòria es pot veure en la *Taula 19: Nombre d'individus menors de setze anys de cada regió inicialment experiment 2*. Mentre que el nombre d'individus que cursen estudis de grau superior inicialment es pot veure en la *Taula 20: Nombre d'individus que cursen estudis de grau superior inicialment experiment 2*.

Regió	Nombre d'individus menors de setze anys
Regió 1	287
Regió 2	320
Regió 3	304
Regió 4	309

Taula 19: Nombre d'individus menors de setze anys de cada regió inicialment experiment 2.

Regió	Nombre d'individus que cursen estudis de grau superior
Regió 1	55
Regió 2	39
Regió 3	51
Regió 4	56

Taula 20: Nombre d'individus que cursen estudis de grau superior inicialment experiment 2.

En les següents figures, *Figura 33: Flux d'estudiants menors de setze anys experiment 2* i *Figura 35: Resultats de mobilitat per estudis obligatoris experiment 2*, podem observar que els estudiants d'estudis obligatoris de la regió 3 i 4, no es mouen de regió, donat que tenen assignat el centre educatiu al qual arriben amb menor o igual temps al determinat per la variable `student-family-maximum-transport-time`. Mentre que els estudiants d'estudis obligatoris de la regió 1 i 2 intenten migra cap a la regió 3, però no tots poden, ja que la regió 3 només hi poden viure 2.100 individus, per tant aquests estudiants que no tenen espai en la regió 3 es queden en la regió en la qual estan i se'ls hi assigna el centre educatiu de la regió 3, és a dir, aquests individus per anar a l'escola diàriament es mouen entre regions, en el cas dels estudiants de la regió 1 que van a l'escola a la regió 3, en aquest escenari, diàriament passen 10 unitats de temps per anar i tornar de l'escola.

En les figures, *Figura 36: Flux d'estudiants d'estudis de grau superior experiment 2* i *Figura 38: Resultats de mobilitat per estudis de grau superior experiment 2*, podem observar els mateixos fets, però ara els estudiants d'estudis de grau superior que no migren són els de les regions 1 i 2 i els que es mouen diàriament per arribar al centre educatiu de grau superior són els de les regions 3 i 4.

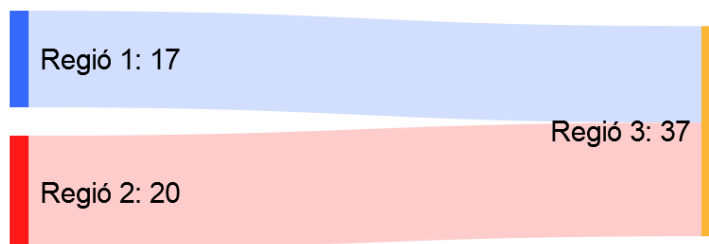


Figura 33: Flux d'estudiants menors de setze anys experiment 2.



Figura 34: Flux d'estudiants menors de setze anys i les seves famílies experiment 2.

### Resultats de mobilitat per estudis obligatoris experiment 2

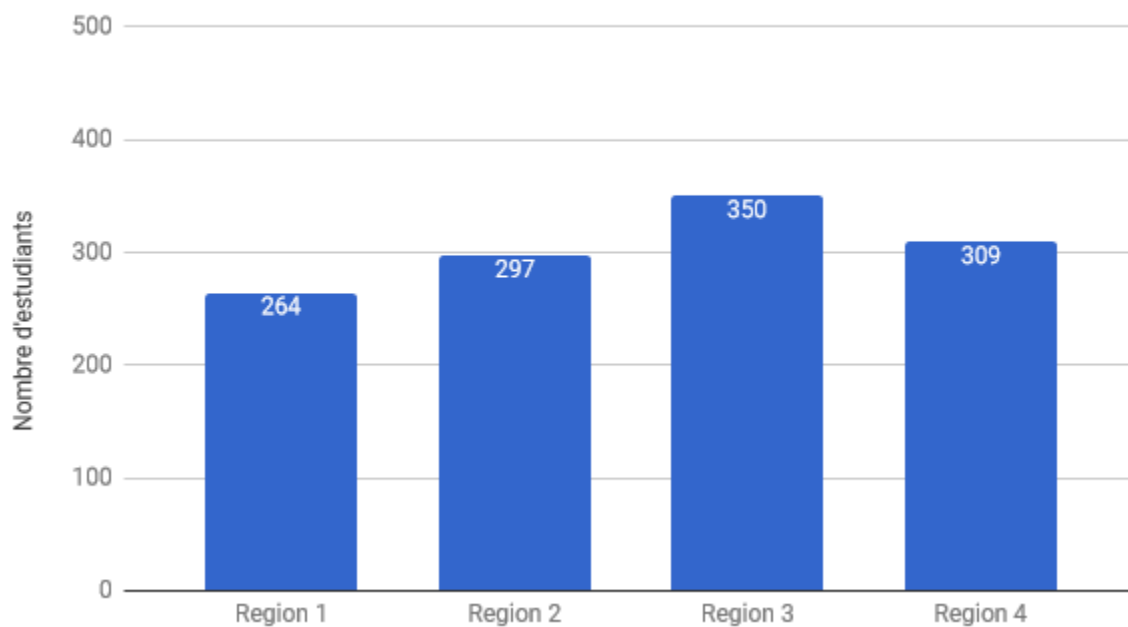


Figura 35: Resultats de mobilitat per estudis obligatoris experiment 2.

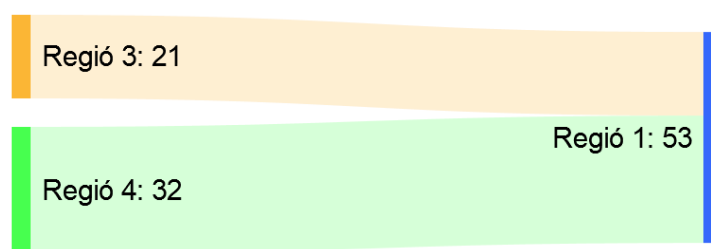


Figura 36: Flux d'estudiants d'estudis de grau superior experiment 2.



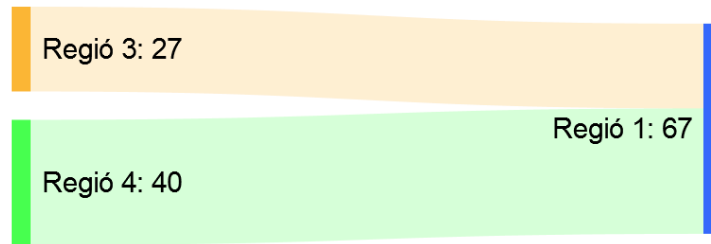


Figura 37: Flux d'estudiants d'estudis de grau superior i les seves famílies experiment 2.

### Resultats de mobilitat per estudis de grau superior experiment 2

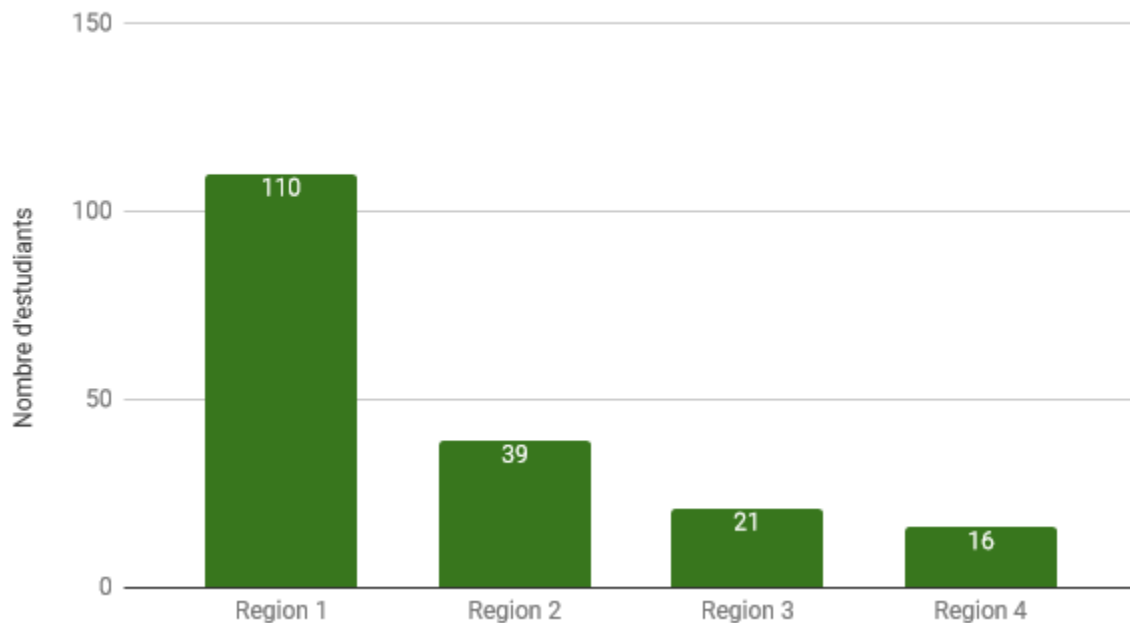


Figura 38: Resultats de mobilitat per estudis de grau superior experiment 2.

En aquest segon experiment deixem que passin 10 anys i obtenim els següents resultats. Com es pot veure en els diagrames de flux (*Figura 39: Flux d'estudiants menors de setze anys experiment 2 any 10*, i *Figura 42: Flux d'estudiants d'estudis de grau superior experiment 2 any 10*), la migració d'individus és constant.

En les següents figures, *Figura 41: Resultats de mobilitat per estudis obligatoris experiment 2 any 10* i *Figura 44: Resultats de mobilitat per estudis de grau superior experiment 2 any 10*, podem observar que els estudiants, tant els d'estudis obligatoris com els d'estudis de grau superior, majoritàriament habiten en les regions en les quals els estudiants poden arribar amb menys o igual temps que el valor de la variable `student-family-maximum-transport-time` o `higher-education-student-maximum-transport-time`.

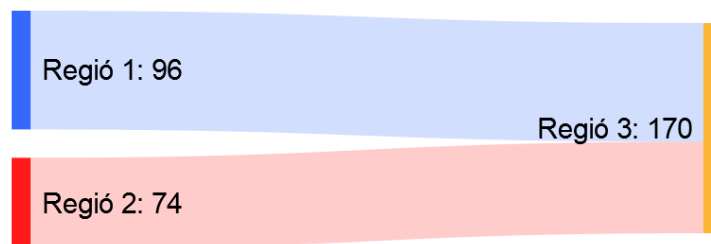


Figura 39: Flux d'estudiants menors de setze anys experiment 2 any 10.

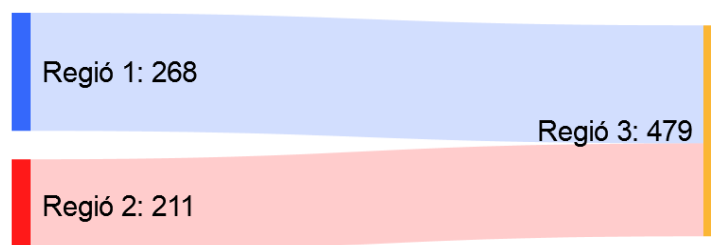


Figura 40: Flux d'estudiants menors de setze anys i les seves famílies experiment 2 any 10.

### Resultats de mobilitat per estudis obligatoris experiment 2 passats 10 anys

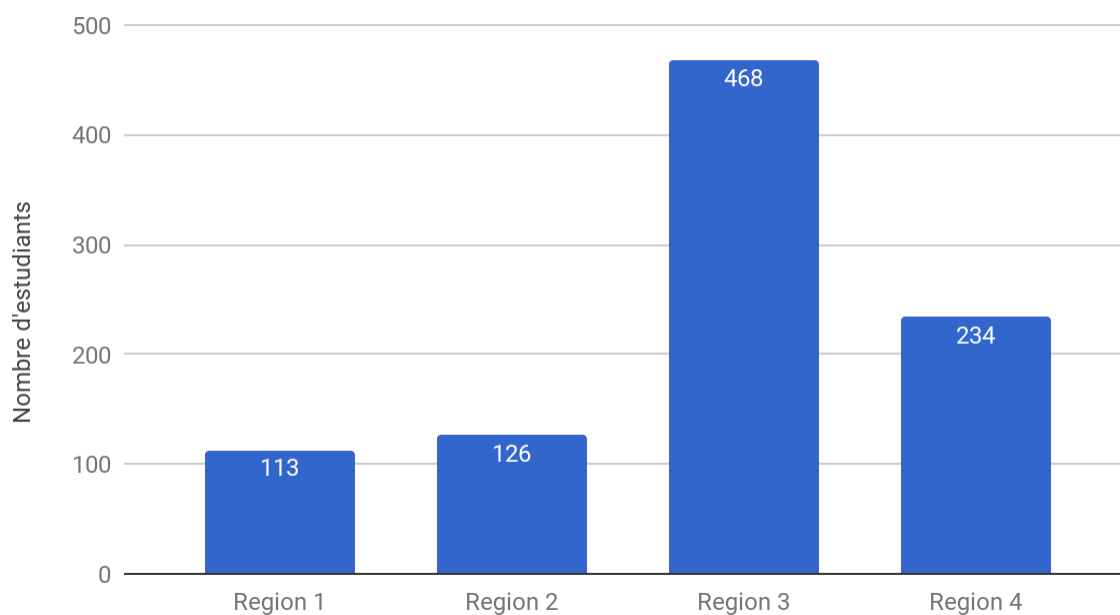


Figura 41: Resultats de mobilitat per estudis obligatoris experiment 2 any 10.

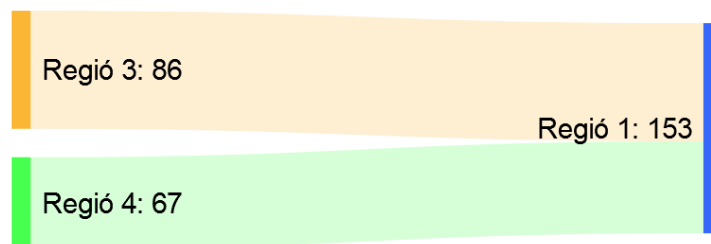


Figura 42: Flux d'estudiants d'estudis de grau superior experiment 2 any 10.

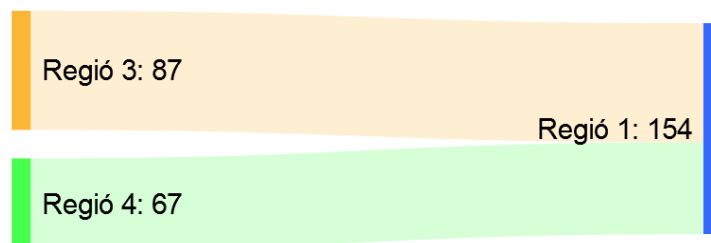


Figura 43: Flux d'estudiants d'estudis de grau superior i les seves famílies experiment 2 any 10.

Resultats de mobilitat per estudis de grau superior experiment 2 passats 10 anys

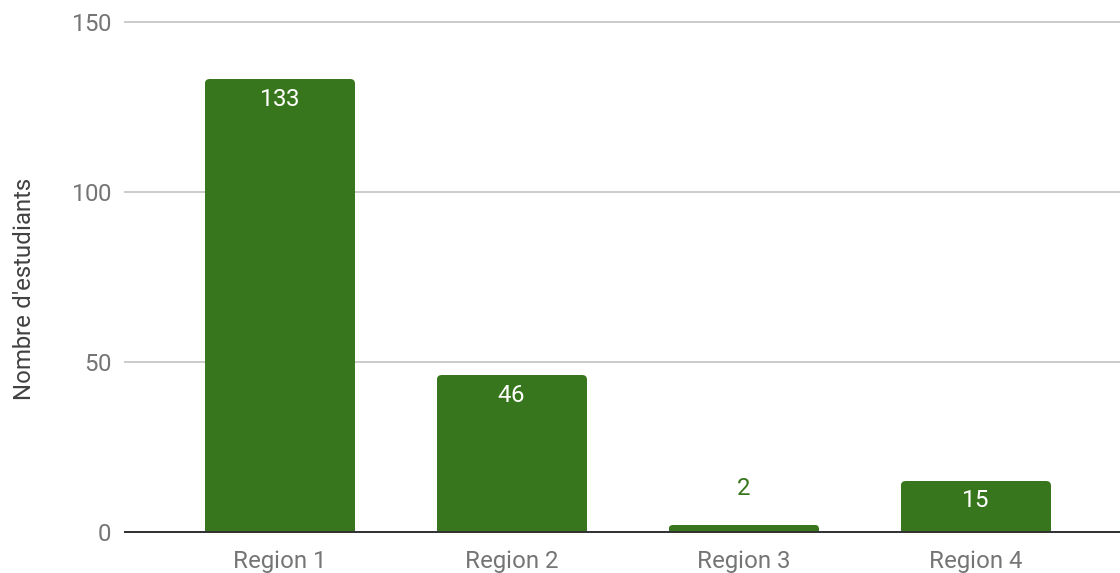


Figura 44: Resultats de mobilitat per estudis de grau superior experiment 2 any 10.

## Mobilitat per feina

L'escenari utilitzat, veure *Figura 45: Escenari resultats de la mobilitat per feina*, consta de 4 regions. La regió 1 i 3 tenen molts llocs de treball, mentre que la regió 2 i 4 en tenen molt pocs.

La regió 1 és la que té un factor d'atracció més elevat 10, seguida de la regió 3 que té un factor de 8, mentre que la resta tenen un factor de 5. Totes les regions estan connectades entre elles i el temps per anar d'una regió a l'altre es pot veure en el pes de l'aresta. Totes les regions, també tenen els mateixos valors a la resta de factors que defineixen a una regió: 90.000 individus poden viure a cada regió i totes les regions tenen centre educatiu d'estudis obligatoris i d'estudis de grau superior. Inicialment cada regió té 2.000 individus. Tant l'edat com el gènere dels individus inicials es calculen aleatòriament.

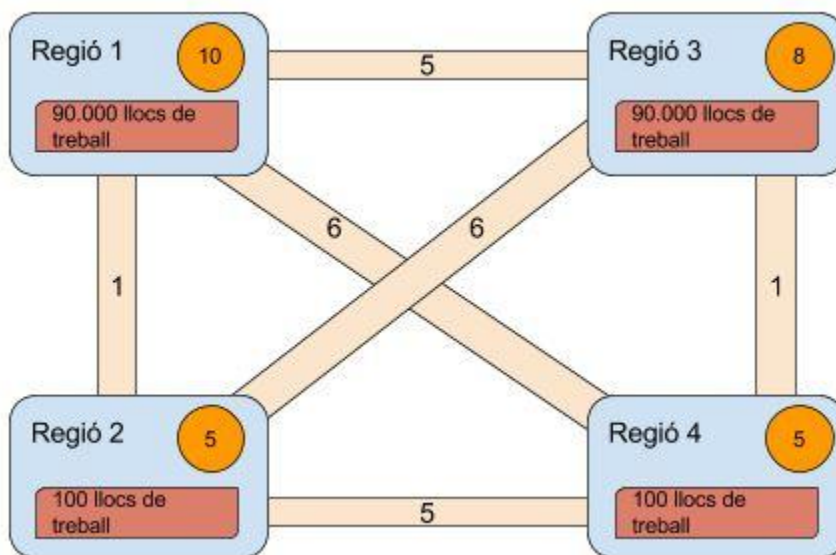


Figura 45: Escenari resultats de la mobilitat per feina.

El valor de les variable `work-maximum-transport-time` és 1, per tant podem observar en la *Figura 46: Resultats de mobilitat per feina*, que els resultats són els esperats, ja que la regió 1 i 3 sempre tenen més treballadors que hi viuen en comparació a les regions 2 i 4. Tot i això, la regió 3 va perdent treballadors que migren cap a la regió 1, com es pot observar en la *Figura 47: Flux de treballadors durant 5 execucions*, ja que la regió 1 és la regió que té un factor d'atracció més elevat.

### Resultats de mobilitat per feina

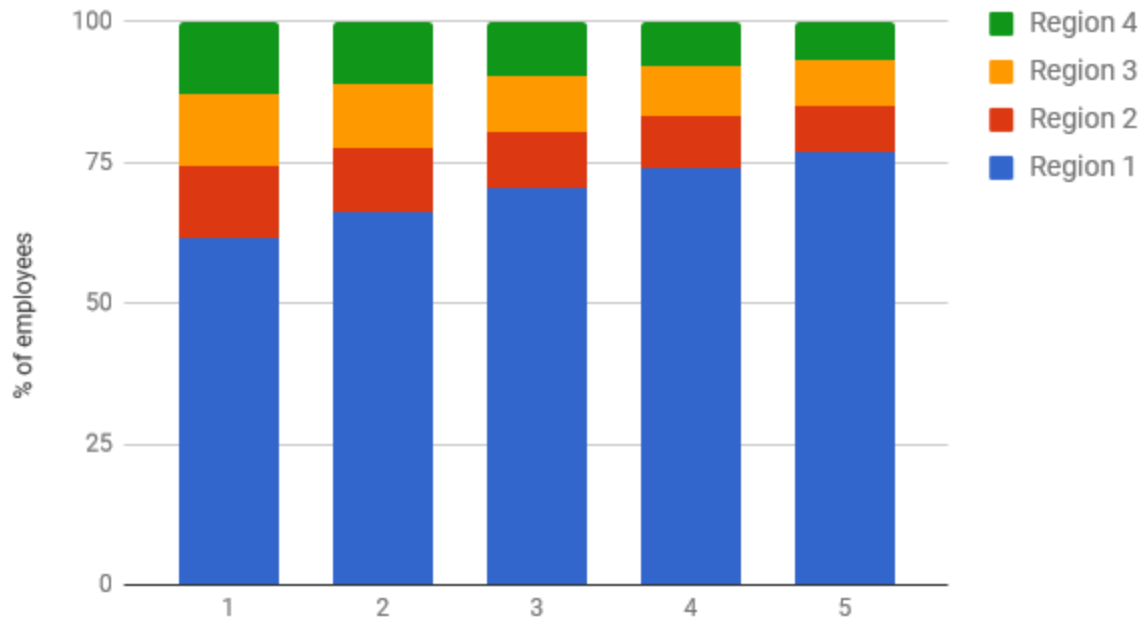


Figura 46: Resultats de mobilitat per feina.

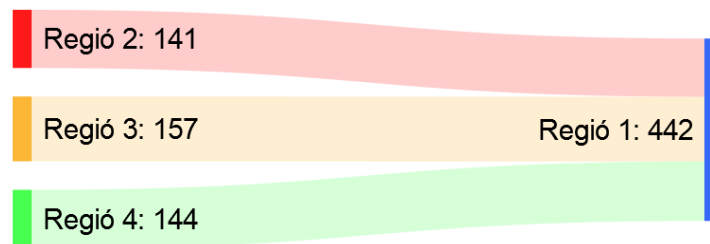


Figura 47: Flux de treballadors durant 5 execucions.

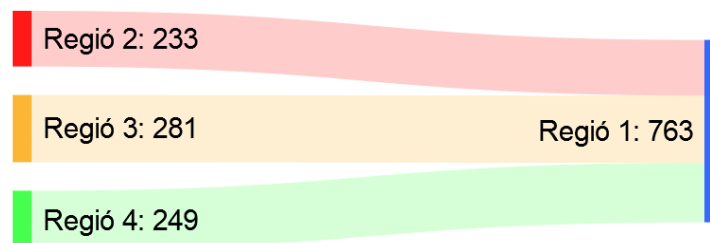


Figura 48: Flux de treballadors i famílies durant 5 execucions.

Repetim l'experiment amb el mateix escenari, però aquest cop posem que en la regió 3 té un factor d'atracció igual que el de la regió 1, és a dir, un factor de 10. Com en l'experiment anterior, tant l'edat com el gènere dels individus inicials es calculen aleatòriament.

En la *Figura 49: Resultats de mobilitat per feina experiment 2* i *Figura 50: Flux de treballadors*

durant 5 execucions experiment 2, podem observar que les regions 1 i 3 creixen en nombre de treballadors per igual, ja que tenen el mateix factor d'atracció.

Resultats de mobilitat per feina experiment 2

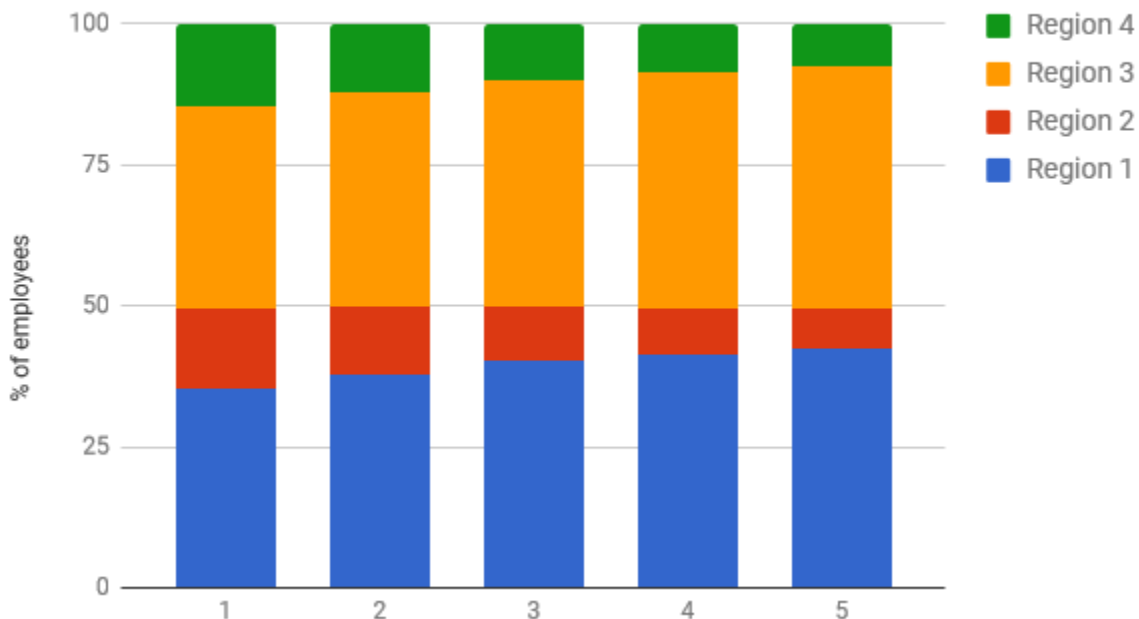


Figura 49: Resultats de mobilitat per feina experiment 2.

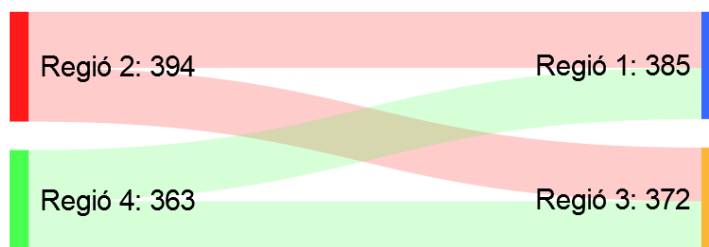


Figura 50: Flux de treballadors durant 5 execucions experiment 2.

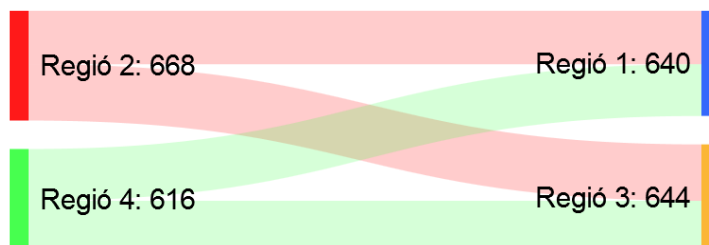


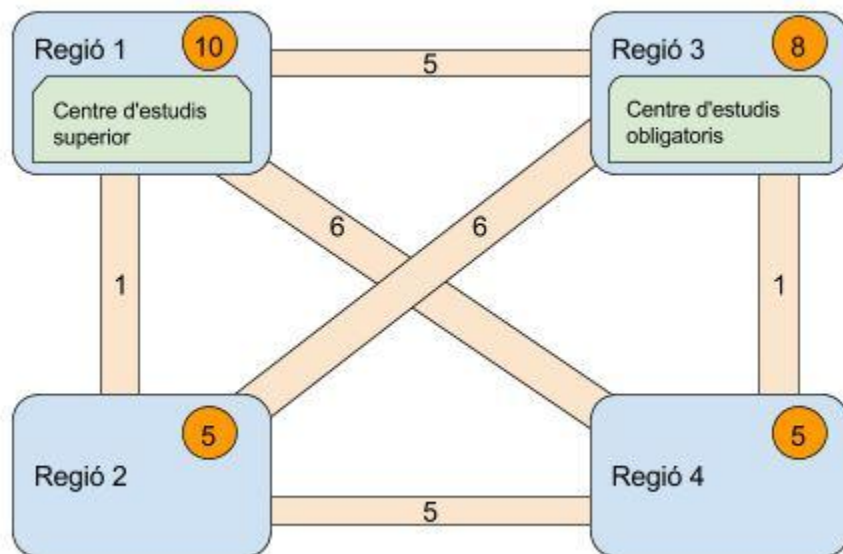
Figura 51: Flux de treballadors i famílies durant 5 execucions experiment 2.

## Mobilitat per formació de parella sentimental

El component de mobilitat per formació de parella sentimental, tal com està descrit i implementat en el model és una simplificació de la realitat, ja que quan un individu pren la decisió de moure's per motius sentimentals es veu afectat per una gran quantitat de factors que no es tenen en consideració en aquest model, com per exemple la intensitat del vincle, la pressió familiar i/o social...

Modelitzar aquest component és molt difícil, ja que els sentiments humans hi tenen un gran impacte, i per això s'ha fet aquesta implementació més simplificada, esperant que en un futur es millori aquest component del model.

L'escenari utilitzat, veure *Figura 51: Escenari resultats de la mobilitat per parella*, consta de 4 regions. La regió 1 és l'única que té centre d'estudis superior i la regió 3 és l'única que té centre d'estudis obligatoris. Totes les regions estan connectades entre elles i el temps per anar d'una regió a l'altra es pot veure en el pes de l'aresta. La regió 1 té un factor d'atracció de 10, mentre que la regió 3 el té de 8, la regió 2 i 4 el tenen de 5. Totes les regions, també tenen els mateixos valors a la resta de factors: 90.000 llocs de treball i 90.000 individus poden viure a cada regió. Inicialment cada regió té 2.000 individus. Tant l'edat com el gènere dels individus inicials es calculen aleatòriament. Les variables `student-family-maximum-transport-time`, `higher-education-student-maximum-transport-time` i `work-maximum-transport-time` valen 1.



*Figura 51: Escenari resultats de la mobilitat per parella.*

En aquesta simplificació, es fa la suposició que els individus que formen una parella, no poden habitar en regions diferents. Executem la simulació 10 vegades i com podem veure en la *Taula*

21: Resultats de mobilitat per formació de parella, tots els individus que formen una parella habiten en la mateixa regió que la seva parella.

	Nombre de parelles en les quals els individus que la formen habiten en regions diferents.
1	0
2	0
3	0
4	0
5	0
6	0
7	0
8	0
9	0
10	0

Taula 21: Resultats de mobilitat per formació de parella.

En la Figura 52: Flux d'individus per mobilitat de parella, podem observar que els individus es mouen entre totes les regions, aquest fet és correcte, ja que en la implementació del model quan es creen les parelles no es té cap restricció de què els individus de la parella hagin de viure en la mateixa regió, però un cop creada la parella, els individus que la formen sí que han d'habitar en la mateixa regió. També podem observar que la regió la qual hi migren més individus és la regió 1, ja que és la que té el factor d'atracció més elevat.

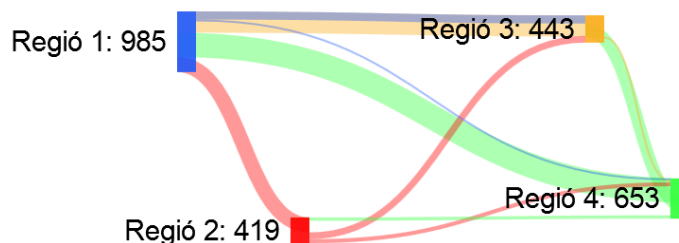
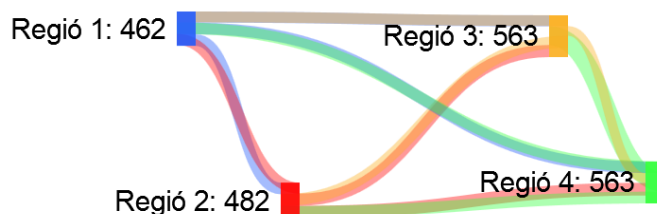


Figura 52: Flux d'individus per mobilitat de parella.



Fem un segon experiment amb el mateix escenari i condicions inicials de l'experiment anterior, però aquest cop totes les regions tenen: centres educatiu d'estudis obligatoris i d'estudis de grau superior i un factor d'atracció de 10. És a dir, el que fem és igualar les condicions de vida en totes les regions.

Executem la simulació 10 vegades i com en l'experiment anterior, tots els individus que formen una parella habiten en la mateixa regió que la seva parella. En la *Figura 53: Flux d'individus per mobilitat de parella experiment 2*, podem observar com efectivament totes les regions tenen les mateixes condicions, ja que les parelles es distribueixen uniformement entre les regions.



*Figura 53: Flux d'individus per mobilitat de parella experiment 2.*

## Conclusions i futures millores

Aquest projecte presenta un model conceptual i la seva implementació en un prototip, el qual permet veure l'efecte de certs factors socioeconòmics sobre la mobilitat de les persones en determinats escenaris específics.

Com ja s'ha comentat, aquest projecte està pensat per ser utilitzat com a base per a futurs projectes, i per això té marge de millora. Unes possibles actuacions que es poden dur a terme en futurs projectes serien:

- Amplia el grau de detall dels factors socioeconòmics, és a dir, desglossar en parts més petites i específiques el factor d'atracció de les regions.
- Implementar un model més acurat en els components, com a mínim els components de mobilitat exterior i mobilitat per formació de parella sentimental.
- Fer més verificacions i validacions per augmentar la confiança en el model.
- Implementar el model en una arquitectura orientada a High-performance computing, per poder realitzar una major i més eficient explotació del model.

## Referències

- [1] Tsay, Shin-pei, and Victoria Herrmann. *Rethinking urban mobility: sustainable policies for the century of the city*. Washington, DC: Carnegie Endowment for International Peace, 2013.
- [2] "La poblacion y el desarrollo sostenible." *United Nations*. United Nations, Aug. 1994. Web. 28 Feb. 2017. <http://www.un.org/popin/icpd/infokit/infokit.sp/6interre.stx.html>.
- [3] "UN DESA Department of Economic and Social Affairs." *United Nations*. United Nations, n.d. Web. 28 Feb. 2017. <https://www.un.org/development/desa/en/>.
- [4] "La OCDE." *OECD*. OECD, n.d. Web. 28 Feb. 2017. <http://www.oecd.org/centrodemexico/laocde/>.
- [5] "Eurostat." *Eurostat*. Eurostat, n.d. Web. 28 Feb. 2017. <http://ec.europa.eu/eurostat>.
- [6] "Iniciativa de datos abiertos del Gobierno de España." *Datos.gob.es*. Gobierno de España, n.d. Web. 28 Feb. 2017. <http://datos.gob.es/>.
- [7] "Cifras de la ciudad." *Estadística*. Ajuntament de Barcelona, n.d. Web. 28 Feb. 2017. <http://www.bcn.cat/estadistica/castella/dades//anuari/cap02/index.htm>.
- [8] Lahoz-Beltrá, Rafael. *Bioinformática, Simulación, vida artificial e inteligencia artificial*. N.p.: Díaz de Santos Ed, n.d.
- [9] M. De Roos, André. *Modeling Population Dynamics*. Rep. N.p.: n.p., n.d. [https://staff.fnwi.uva.nl/a.m.deroos/downloads/pdf\\_readers/syllabus.pdf](https://staff.fnwi.uva.nl/a.m.deroos/downloads/pdf_readers/syllabus.pdf).
- [10] J. de Boer, Rob. *Modeling Population Dynamics: a Graphical Approach*. Rep. Utrecht University, n.d. <http://theory.bio.uu.nl/rdb/books/mpd.pdf>.
- [11] Newman, K. B. *Modelling population dynamics: model formulation, fitting and assessment using state-space methods*. New York, NY: Springer, 2014.
- [12] G., Alberto Ramírez. *Ecología aplicada: diseño y análisis estadístico*. Santafé de Bogotá: Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, 1999.
- [13] "What are agent-based models (ABMs)?" *OABMC*. Open Agent Based Modeling Consortium, n.d. Web. 28 Feb. 2017. <https://www.openabm.org/faq-page#t780n3730>.
- [14] Arifin, SM Niaz, Ying Zhou, Gregory J. Davis, James E. Gentile, Gregory R. Madey, and Frank H. Collins. "An agent-based model of the population dynamics of *Anopheles gambiae*." *Malaria Journal*. BioMed Central, 05 Nov. 2014. Web. 28 Feb. 2017. <https://malariajournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/1475-2875-13-424>.

- [15] Zhang, Qijun, and Wander Jager. "Agent based modeling of population dynamics in municipalities: Migration in the Derbyshire & Nottinghamshire cases in the UK. . University of Groningen, Nov. 2011. Web. 28 Feb. 2017  
[https://www.rug.nl/staff/w.jager/zhang\\_jager\\_2011\\_populationdynamics.pdf](https://www.rug.nl/staff/w.jager/zhang_jager_2011_populationdynamics.pdf).
- [16] *NetLogo Home Page*. N.p., n.d. Web. 26 May 2017.  
<https://ccl.northwestern.edu/netlogo/>.
- [17] Felber, Christian, and Silvia Yusta. *La economía del bien común: un modelo económico que supera la dicotomía entre capitalismo y comunismo para maximizar el bien de nuestra sociedad*. Barcelona: Deusto, 2015. Print.
- [18] Sales, Cristina Montañola, Bhakti S. S. Onggo, Josep Casanovas Garcia, Cela Espín José M., and Adriana Kaplan Marcusan. "Approaching parallel computing to simulating population dynamics in demography." *UPCommons*. N.p., 09 Mar. 2017. Web. 13 June 2017. <http://upcommons.upc.edu/handle/2117/102189>.
- [19] "Instituto Nacional de Estadística." *Instituto Nacional de Estadística. (Spanish Statistical Office)*. N.p., n.d. Web. 14 June 2017. <http://www.ine.es/welcome.shtml>.
- [20] Group, S.A. Web Financiera. "Uno de cada cuatro españoles cambia de trabajo." *BOLSAMANIA*. N.p., 25 Aug. 2014. Web. 21 June 2017.  
<http://www.bolsamania.com/noticias/pulsos/uno-de-cada-cuatro-espanoles-cambia-de-trabajo--585055.html>.
- [21] Robinson, Stewart . "Simulation model verification and validation: increasing the users confidence." N.p., n.d. Web. 14 June 2017.  
<http://www.informs-sim.org/wsc97papers/0053.PDF>.
- [22] NetLogo (1999) by U. Wilensky.