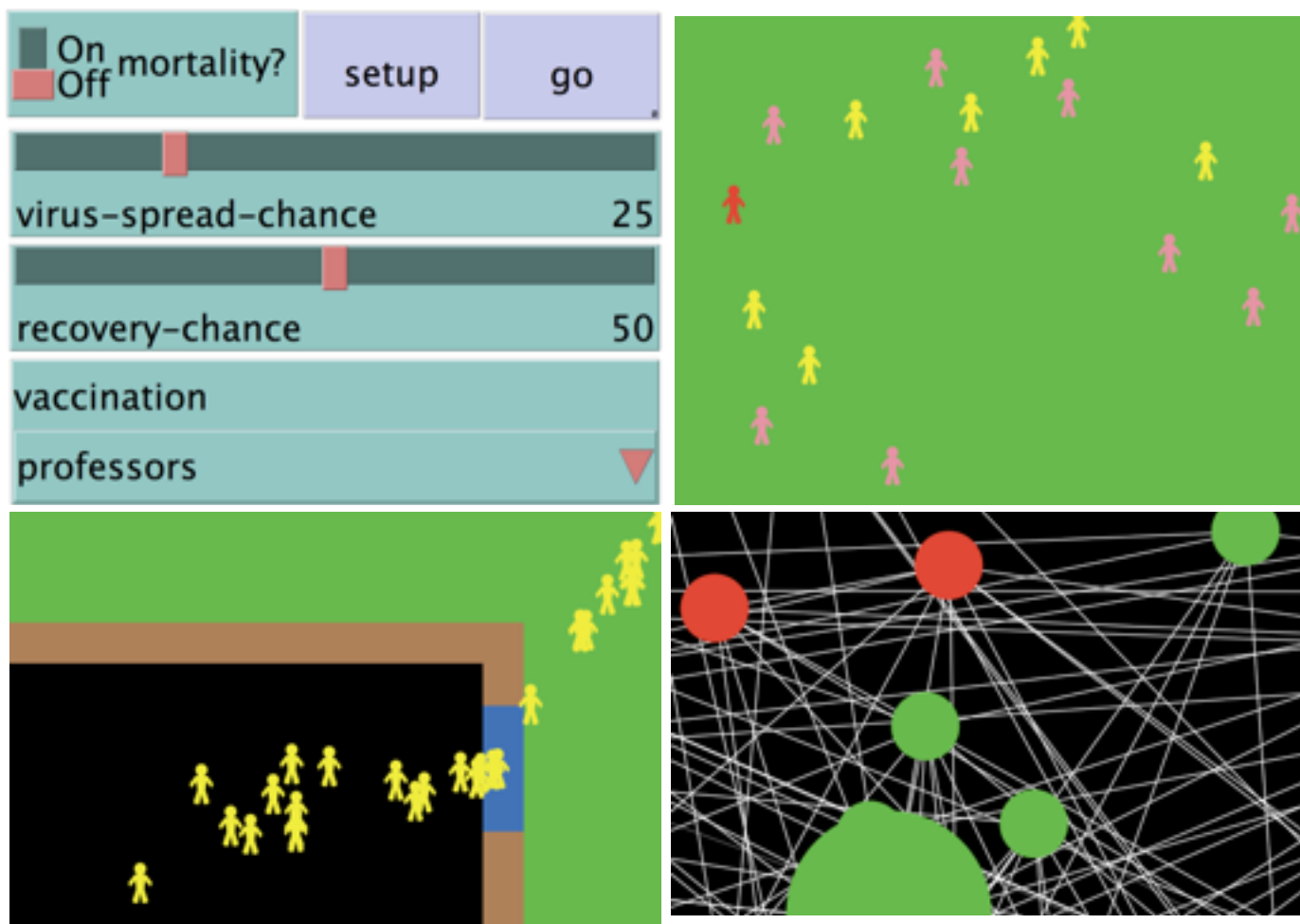


Simulacions de la propagació d'una epidèmia a l'institut



Pseudònim: Dirichlet

El treball s'inicia amb l'explicació de l'estudi històric de les epidèmies i de l'epidemiologia.

La part experimental consisteix en l'elaboració de dos models computacionals mitjançant el programa informàtic NetLogo, capaços de simular la propagació d'una epidèmia dins l'entorn de l'institut Arnau Cadell.

Els resultats de les sistemàtiques simulacions realitzades amb els dos models ens serveixen per confirmar les dues hipòtesis plantejades inicialment:

1. A mesura que la mobilitat dels agents es veu reduïda, a l'epidèmia li és més costós transmetre's.
2. No és imprescindible la vacunació de tota la població per aconseguir que l'epidèmia desaparegui.

1. Introducció	6
1.1 Objectius	6
1.2 Hipòtesis	6
1.3 Motivacions	6
1.4 Estructura i Metodologia	7
2. Les epidèmies	9
2.1 El concepte d'epidèmia	9
2.2 Recorregut històric	9
2.2.1 Hipòcrates	9
2.2.2 Tucídides i la primera descripció d'una epidèmia	10
2.2.3 La pesta negra	10
2.2.4 La importància de la immunitat	11
2.2.5 Identificació de microorganismes com a causants de malalties	11
2.3 Classificació segons el mecanisme de transmissió	12
2.3.1 Malalties transmeses a través de ferides a la pell	12
2.3.2 Malalties transmeses a través de l'aire	12
2.3.3 Malalties transmeses per via sexual	12
2.3.4 Malalties transmeses per l'aigua i els aliments	13
2.3.5 Malalties transmeses per animals	13
3. L'epidemiologia	14
3.1 Teories epidemiològiques	14
3.1.1 John Snow, el pare de l'epidemiologia	14
3.1.2 Ignác Semmelweis	16
3.2 Els models matemàtics	17
3.2.1 El model de Kermack i Mckendrick	18
3.3 Els models basats en agents (MBA)	23
3.3.1 John Conway i el Joc de la vida	23
3.3.2 StarLogo i la proliferació dels MBA	24
4. Desenvolupament de dos models basats en agents	25
4.1 El funcionament del NetLogo	25
4.1.1 Observant un model	26
4.1.2 Manipulant un model	27
4.1.3 Programant un model	27
4.2 Model basat en la mobilitat dels agents «Model 1»	31
4.2.1 El comportament dels agents del «Model 1»	35
4.2.2 El comportament de l'epidèmia al «Model 1»	48

4.3 Anàlisi de la propagació d'epidèmies amb el «Model 1»	52
4.3.1 La grip com a punt de partida	52
4.3.2 Simulacions del «Model 1»	54
4.3.2.1 Variacions de les característiques de l'epidèmia	55
4.3.2.2 Variacions del comportament dels agents	67
4.4 Model basat en una xarxa de contactes «Model 2»	89
4.4.1 La xarxa de contactes de l'institut amb el NetLogo	89
4.4.2 Diferències amb el «Model 1»	96
4.5 Anàlisi de la propagació d'epidèmies amb el «Model 2»	96
4.5.1 Simulacions del «Model 2»	96
4.5.1.1 L'efecte de la immunitat analitzat amb el «Model 2»	97
4.5.1.2 L'efecte de la infectivitat analitzat amb el «Model 2»	115
4.5.1.3 L'efecte de la mortalitat analitzat amb el «Model 2»	130
5. Conclusions	148
5.1 L'efecte de les modificacions del comportament dels agents	148
5.2 L'efecte de les vacunacions	153
5.3 Comparació del desenvolupament de l'epidèmia en els dos models	154
5.4 Mancances dels models	155
5.5 Vies obertes d'investigació	156
Notes	157
Bibliografia	159
ANNEXOS	161
Annex 1: Plànols de l'institut	162
1.1 Distribució original de les aules	162
1.2 Plànol modificat amb mesures principals	163
1.2.1 Planta segona i planta primera	163
1.2.2 Planta inferior i planta baixa	164
1.2.3 Menjador, sala d'actes i casa	165
1.2.4 Plànol modificat a mà	166
Annex 2: Diagrames del recorregut dels agents	167
2.1 Diagrama del procediment "playground"	167
2.2 Diagrama del procediment "class"	168
Annex 3: Correspondència "turtle"- professor/aula	169
Annex 4: L'aparició d'una epidèmia	170
4.1 Exposició de l'experiment	170
4.2 Comentari dels resultats obtinguts	172

4.3 Conclusió	172
Annex 5: Codis dels procediments principals	173
5.1 Fragment del codi amb l'algorítme central	173
5.2 Fragment del codi de la ubicació del alumnes	174
5.3 fragment del codi de la ubicació dels professors	175
Annex 6: Comparativa del model compartimental i el model SIR	176
6.1 Característiques dels models	176
6.2 Realització de les simulacions	176
6.3 Comentari dels resultats obtinguts	178
Annex 7: Fotografies dels models	179
7.1 Models basat en la mobilitat dels agents	179
7.2 Model basat en una xarxa de contactes	182
Agraïments	183

1. Introducció

1.1 Objectius

Els objectius d'aquest treball de recerca són diversos, però es poden dividir en dos conjunts.

El primer va més enfocat a endinsar-me en el món de l'estudi de les epidèmies i a aprofundir al màxim en aquesta matèria. Per això pretenc realitzar una introducció al concepte d'epidèmia, i posteriorment elaborar una classificació de les més importants. També em sembla interessant conèixer quina ha estat la relació dels humans amb les epidèmies al llarg de la història, així com els episodis més transcendents que ens han permès assolir els actuals coneixements científics sobre aquestes malalties infeccioses. I per últim, explicar com és possible estudiar la propagació de les epidèmies des d'un punt de vista matemàtic.

El segon conjunt d'objectius es vincula menys amb la recerca d'informació i l'assimilació de conceptes, i més amb el desenvolupament i amb l'experimentació. Es tracta de crear dos models basats en agents amb el programa NetLogo, els quals siguin útils per a fer diverses simulacions sobre la hipotètica propagació d'una epidèmia per un entorn conegut, com és l'institut Arnau Cadell de Sant Cugat del Vallès. I finalment poder avaluar els resultats obtinguts amb les simulacions efectuades i extreure'n conclusions que serveixin per confirmar o desmentir les hipòtesis plantejades en el següent punt.

1.2 Hipòtesis

Les hipòtesis plantejades són les següents:

- Modificant el comportament dels individus de l'institut s'aconsegueix alterar el comportament de l'epidèmia, concretament, a mesura que la mobilitat es veu més reduïda, a la infecció li és més costós transmetre's.
- La vacunació d'un determinat grup d'individus de l'institut frena la transmissió de l'epidèmia i l'elimina de la població, sobretot si aquest grup està constituït pels individus amb més relacions.

1.3 Motivacions

Les malalties infeccioses són la segona causa de mort al món, només per sota de les malalties del cor. De fet, en el rànquing de les 10 primeres causes de mort del 2012 segons l'Organització Mundial de la Salut, 3 d'elles, representant ja el 10,9% de totes les morts, van ser malalties infeccioses: infeccions de les vies respiratòries, malalties diarreiques i la SIDA. En el cas dels països més pobres, també entraven al rànquing la malària i la tuberculosi.^[1]

Al llarg de la història de la humanitat les epidèmies i pandèmies de malalties infeccioses han estat molt presents. Només cal recordar com la pesta negra va eliminar un terç de la població europea

durant l'edat mitjana, o com la grip espanyola de 1918, que va arribar a infectar 500 milions de persones d'arreu del món, va acabar provocant la mort d'entre un 3% i un 5% de la població mundial. [2]

Les epidèmies sempre han tingut un gran impacte social i econòmic en les poblacions afectades, però avui en dia, en el nostre món totalment interconnectat, la propagació global pot produir-se molt ràpidament. Això va demostrar-se amb el brot epidèmic de SARS* que va sorgir a la Xina el 2003 i que ràpidament es va propagar per Canadà, els Estats Units i Europa, com a conseqüència dels viatges amb avió. Tot i que el brot al final no va resultar ser tan catastròfic com es va preveure, la por al contagi va fer que es tanquessin escoles, botigues, fàbriques... generant tot plegat una pèrdua econòmica als països asiàtics d'aproximadament 18.000 milions de dòlars.[3]

Un altre cas molt més recent és el brot d'Ebola, registrat per primer cop a l'inici del 2014, a l'oest d'Àfrica, que en pocs mesos ja s'havia propagat per cinc països diferents: Guinea, Libèria, Sierra Leone, Nigèria i Senegal. Posteriorment, el virus va aconseguir sortir del continent, arribant a infectar 2 individus a Europa i 4 a Amèrica. Segons dades de l'OMS del 31 de desembre de 2014, fins aquesta data s'han documentat 20.206 casos, amb 7.905 morts†. Les característiques d'aquest virus, però, fan que resulti molt complicada la seva propagació per països desenvolupats, ja que no es transmet per l'aire, sinó per contacte directe amb sang, fluids corporals o teixits d'animals i persones infectades. Tot i això, segueix sent una epidèmia molt perillosa, perquè la taxa de mortalitat és molt alta. [4]

La voluntat de l'OMS és poder eliminar aquest brot completament durant el segon trimestre del 2015, a partir de mesures per controlar els centres amb individus infectats, assegurar una immediata intervenció en els països en què es detectin casos inicials, i enfortir la preparació d'altres països per detectar ràpidament una possible exposició al virus.[5]

Per aquestes raons és tan important desenvolupar models capaços d'anticipar el comportament de les epidèmies que puguin servir per desenvolupar plans de prevenció i de lluita contra aquestes.

1.4 Estructura i Metodologia

L'estructura del treball consta de quatre blocs principals, a més a més dels annexos que també representen una part molt important.

El primer d'aquests blocs (apartat 2) conté una aproximació inicial al concepte d'epidèmia, el qual no sempre es fa servir adequadament, i s'introdueixen altres mots com endèmic o pandèmia.

* Síndrome respiratòria aguda greu.

† Dades obtingudes del document *Ebola Response Roadmap-Situation Report*, publicat per la OMS el 31 de desembre de 2014.

Posteriorment, faig un recorregut històric pels principals episodis que van suposar punts d'inflexió en l'evolució del coneixement referent a les epidèmies. També hi apareix una classificació de les malalties infeccioses causants de les epidèmies, centrada en els diferents tipus de transmissió que es poden donar.

En el següent bloc (apartat 3) és on parlo de l'estudi de les epidèmies. Aquest es divideix en tres apartats, en el primer es narren les històries de dos personatges que a partir de les seves teories epidemiològiques van contribuir significativament a la lluita contra aquestes malalties. En el segon apartat s'explica en què consisteix el model matemàtic SIR, actualment molt utilitzat per predir l'evolució que pot seguir una epidèmia. I finalment parlo de la proliferació, en els darrers vint anys, dels models basats en agents, una eina també a tenir en compte a l'hora d'elaborar prediccions sobre el comportament que pot tenir una infecció.

El tercer bloc (apartat 4) és el principal i el més extens. Primer explico en forma de tutorial el funcionament del NetLogo i el seu llenguatge de programació, perquè després resulti més fàcil la comprensió de l'explicació del codi de cada un dels models desenvolupats. Totes les simulacions efectuades amb un model es mostren a continuació d'aquest, cada una constituint una fitxa diferent. En total, del primer model basat en la mobilitat dels agents, he elaborat 26 simulacions, i del segon model basat en una xarxa de contactes, n'he elaborat més de 120. Segons les característiques de cada model, les simulacions van més enfocades a variar uns aspectes determinats. Per això, les simulacions corresponents al primer model se centren en la modificació del comportament dels agents, i per tant han de servir per confirmar la veracitat de la primera hipòtesi. I les corresponents al segon model se centren en l'efecte de les vacunacions sobre diferents sectors de la població, útils per confirmar la veracitat de la segona hipòtesi.

En l'últim bloc (apartat 5) , que és el de les conclusions, sintetitzo els diferents aspectes més destacables dels resultats obtinguts amb cada conjunt de simulacions. També faig una autocrítica esmentant les mancances dels models, i finalment proposo algunes vies obertes d'investigació.

Als annexos, hi podeu trobar tota la informació addicional referent als models, com són els diferents plànols, les fotografies i diferents fragments del codi, a més a més de dos experiments força interessants fets també a partir dels models.

2. Les epidèmies

2.1 El concepte d'epidèmia

El concepte d'epidèmia es defineix com el fenomen que es dona quan nous casos d'una certa malaltia, en una població i durant un període, sobrepassen substancialment allò que s'espera segons l'experiència recent, és a dir, quan s'aprecia un augment significatiu respecte l'índex normal d'infeccions. Per això és una categoria una mica subjectiva, perquè depèn de què és allò que es considera "normal". [6]

Pocs casos d'una malaltia poc coneguda poden ser classificats com una epidèmia, mentre que molts casos d'una malaltia comuna, com el refredat comú, no són considerats com a tal. Tot i això, malalties comunes que ocorren a un nivell constant però relativament alt en una determinada població s'anomenen casos endèmics.

Una epidèmia pot estar localitzada en un punt concret, o es pot propagar per diferents països i continents, afectant una gran part de la població, tal com ja va ocórrer amb la pesta negra. Quan això es dona, el fenomen passa a dir-se pandèmia.

Les malalties causants de les epidèmies són les anomenades malalties infeccioses. Avui en dia, però, el terme epidèmia també es fa servir per parlar de successos no relacionats amb les infeccions, com és el fenomen de l'obesitat, el consum de tabac entre els joves o un virus informàtic, perquè afecten un gran nombre de persones o d'objectes i segueixen un comportament similar al de les epidèmies.

2.2 Recorregut històric

2.2.1 Hipòcrates

Durant el segle V aC, el terme *epidemios* va passar a referir-se a "allò que circula i es propaga per un indret". Tenia, però, dues connotacions. Una referida a quelcom no relacionat amb la medicina, tal com Sòfocles (495 aC - 406 aC) l'utilitzava, designant un rumor, un soroll, la fama, o la reputació. I l'altra, introduïda per Hipòcrates i present al *Corpus Hipocràtic* el qual conté 7 llibres titulats *Epidèmics*. Fou ell el primer a parlar d'aquest terme referint-se a "malalties que es propaguen pel país", i per tant podem dir que ell va ser qui va establir un significat mèdic per al terme *epidemios*. [7]

2.2.2 Tucídides i la primera descripció d'una epidèmia

Tucídides (entre 460 i 455 aC - 400 aC) va descriure una sèrie de signes clínics* els quals van originar-se al sud d'Etiòpia i es van propagar per Egipte i per Líbia, fins a arribar a Grècia i originar la gran plaga d'Atenes (430 aC) causant la mort del 33% de la població.

Els seus escrits mostren la primera epidèmia de la història en ser documentada. Tot i això, encara no s'ha pogut esbrinar quina va ser la malaltia causant.^[8]

2.2.3 La pesta negra

Durant l'Edat Mitjana, el món va patir la que podríem considerar com la pitjor pandèmia de la història de la humanitat. Es va començar a difondre per Itàlia i Egipte el 1347 com a resultat de l'arribada als ports de vaixells de mercaderies els quals contenien rates amb puces infectades pel bacteri de la pesta. Durant els següents 5 anys (1347-1351), la pesta, també coneguda amb el nom de mort negra, va matar gairebé un terç de la població europea i un quart dels habitants de l'Orient Mitjà.



IMATGE 1: PLACA HISTÒRICA QUE ES COL·LOCAVA A LES CASES DURANT L'EPIDÈMIA DE PESTA NEGRA [OBTINGUDA DE [HTTP://UPLOAD.WIKIMEDIA.ORG/WIKIPEDIA/COMMONS/1/1B/1607-35_PESTTAFEL_AUGSBURG_ANAGORIA.JPG](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1B/1607-35_Pesttafel_Augsburg_Anagoria.JPG)]

Les mesures de control que es van establir es basaven en la quarantena i en l'eliminació dels cossos i de les possessions de les víctimes.

Tot i que s'observava que durant una epidèmia de pesta, el nombre de rates augmentava, no van esbrinar el seu paper fins al 1894, quan el patogen va ser descobert en les rates i en els humans que van morir durant una epidèmia de pesta al Hong Kong. Però no va ser fins dos anys després que el Dr. Paul-Louis Simond† va establir la connexió entre les rates i els humans: la puça de rata.

* En el llibre II de la *Història de la guerra del Peloponès*.

† Paul-Louis Simond (1858-1947) va ser un físic i biòleg francès.

Un cop una puça de rata s'infecta amb *Yersinia pestis*, el bacteri de la pesta, ja no pot digerir el seu aliment, és a dir, la sang de rata. Per tant, la puça busca altres animals dels quals alimentar-se, i així passa l'organisme als humans. Després de ser infectada, la puça de rata pot hivernar uns 50 dies al gra o a la roba, i difondre la malaltia als humans que entren en contacte amb aquests ítems. [8]

2.2.4 La importància de la immunitat

La primera prova de l'existència de la verola prové de les mòmies egípcies que van pertànyer a la XVIII dinastia (1580 - 1350 aC), ja que s'ha pogut observar la presència de marques de les crostes d'aquesta malaltia en els seus cossos.

La verola es va tornar a difondre durant l'expansió aràbiga, les Croades i la colonització d'Amèrica. La malaltia era desconeguda en el Nou Continent, i després de ser introduïda, va produir la pràctica extinció dels Asteques i dels Inques.

Tot i que en aquells temps no se sabia massa bé com es transmetia la verola, s'observava que els supervivents a la malaltia adquirien una immunitat que els protegia davant possibles infeccions posteriors. Com a conseqüència d'aquest fenomen, diversos mètodes es van començar a desenvolupar per intentar exposar els individus a materials o crostes amb l'esperança que la immunitat s'establís sense que els subjectes patissin la malaltia. Aquesta pràctica rebia el nom de variolització. [8]

Però no va ser fins al 1796, que Edward Jenner aconseguí trobar un mètode segur per a la immunització. Durant molts anys, ell havia escoltat històries que parlaven sobre les lleteres protegides de la verola de forma natural després d'haver patit la verola bovina, una variant lleu de la mortal verola humana. El maig de 1796, Jenner va conèixer una lletera jove infectada, amb crostes a les mans. Llavors va extreure fluid d'aquestes crostes i el va injectar a un nen sa de 8 anys. Aquesta inoculació va fer que el nen presentés símptomes de la malaltia, però al final es va recuperar. 48 dies després, li va inocular el virus de la verola humana, i no va presentar cap símptoma. D'aquesta manera, Jenner acabava de desenvolupar el mètode que va conduir a l'eradicació total d'aquesta malaltia cap a finals del segle XX. [9]

2.2.5 Identificació de microorganismes com a causants de malalties

La invenció del microscopi per part d'Anton van Leeuwenhoek (1632-1723) va suposar un gran avenç, ja que va permetre l'observació de diferents bacteris, tot i que en un primer moment no es van identificar com a causants de malalties.

La demostració que aquests microorganismes eren els causants de malalties humanes no va arribar fins al 1876, després de l'experiment efectuat pel científic Robert Koch. El seu treball va consistir a aïllar el microorganisme causant d'una malaltia i fer-lo créixer en un cultiu microbià pur (format per una sola espècie). Aquest cultiu va ser utilitzat per induir la malaltia en ratolins, aïllant de nou el germen dels animals malalts i comparant-lo amb el germen original.^[8]

2.3 Classificació segons el mecanisme de transmissió

Actualment, sabem que els microorganismes capaços d'originar malalties infeccioses en els éssers vius poden ser virus, bacteris, fongs o protozous. Segons el medi en què són transmeses poden classificar-se en les que es transmeten per contacte directe, per l'aire, per via sexual, per l'aigua o els aliments, o bé a través de vectors animals. ^[10]

2.3.1 Malalties transmeses a través de ferides a la pell

Molt pocs microorganismes patògens poden penetrar a través de la pell intacta dels animals, per la qual cosa han d'aprofitar les ruptures que s'hi produeixen per envair-los el cos. Aquests microorganismes poden ser presents sobre la pell de l'animal, trobar-se a l'objecte que ha produït la ferida, o bé provenir de terra, de la roba contaminada, dels excrements humans o fins i tot de l'orina. Exemples de malalties d'aquest tipus són la ràbia, transmesa per mossegada de gos, gat o ratpenat, i el tètanus, que provoca la contracció involuntària i violenta dels músculs.

2.3.2 Malalties transmeses a través de l'aire

Molts microbis es transmeten per l'aire dins de microgotes d'humitat o sobre partícules de pols, que poden provenir de persones malaltes que les expel·leixen mitjançant, per exemple, l'esternut, la tos, o fins i tot la parla, o bé provenir de l'ambient contaminat. Les infeccions que causen amb més freqüència els microbis patògens són les respiratòries, com per exemple, el constipat comú, la grip, el xarampió, la varicel·la, la tuberculosi, la pneumònia, etc.

2.3.3 Malalties transmeses per via sexual

Les malalties de transmissió sexual (MTS) o malalties venèries afecten principalment la població adolescent i els joves de fins a 30 anys. Els microorganismes que les causen es transmeten principalment durant les relacions sexuals, tot i que alguns també poden infectar a través d'altres mitjans com ara xeringues contaminades, transfusions de sang contaminada, o en el moment del naixement.

La majoria de MTS són fàcilment curables, però les causades per virus, com la sida són molt difícils o impossibles de curar. Les principals MTS són la gonorrea, la sífilis, el papil·loma, l'hepatitis B i la sida.

2.3.4 Malalties transmeses per l'aigua i els aliments

Aquestes malalties es poden produir per la proliferació dels microorganismes patògens en el cos de l'animal que els ingereix, o bé per les toxines existents en els aliments, sense que sigui necessària la presència del microbi patògen. L'aigua contaminada amb restes fecals pot transmetre totes aquestes malalties, com per exemple la disenteria amèbica. Per la naturalesa de la transmissió, la majoria d'aquestes malalties afecten el tracte digestiu. Alguns exemples són la poliomièlitis, l'hepatitis A, la salmonel·losi, el còlera, etc.

2.3.5 Malalties transmeses per animals

La majoria d'animals que els microbis patògens utilitzen com a vectors són del grup dels artròpodes, com ara les paparres, els polls, les puces, els mosquits i les mosques. Quan aquests animals piquen els humans, els transmeten els microbis. Alguns artròpodes són simples vectors mecànics que només transporten els microbis. Altres són vectors biològics, ja que en ells, el microorganisme hi desenvolupa una part del seu cicle vital, com és el cas del protozou causant de la malària. Sovint, els artròpodes agafen els microbis d'altres animals, com ara les rates, tal com succeeix amb la pesta.

3. L'epidemiologia

L'epidemiologia estudia l'evolució d'una epidèmia al llarg d'un temps, amb l'objectiu de poder anticipar el seu comportament. D'aquesta manera, analitza la malaltia per desenvolupar plans de prevenció i de lluita contra aquesta mitjançant la vacunació o la quarantena.

3.1 Teories epidemiològiques

Les teories epidemiològiques sobre les formes de transmissió de diverses malalties infeccioses no es basen en models matemàtics i sovint precedeixen l'estudi dels microorganismes que les transmeten. Se centren bàsicament en l'observació i en l'experiència. Per tant la microbiologia i els models no són imprescindibles per desenvolupar estratègies per a la prevenció i el control de la salut pública. Aquest fet el confirmen, entre d'altres, dos exemples històrics.

3.1.1 John Snow, el pare de l'epidemiologia

John Snow (1813 - 1858) va ser el metge anglès considerat el pare de l'epidemiologia.^[11] En la seva època, molts científics creien que el còlera era causat pels "miasmes", aire contaminat provinent de la matèria orgànica en descomposició.^[12] Però Snow discrepava d'aquesta teoria, i a mesura que a Londres anaven apareixent més casos de còlera, ell començà a examinar els pacients malalts. En tots ells els primers símptomes havien estat problemes digestius. Aquest fet posava en dubte la teoria dels "miasmes", ja que segons aquesta, l'aire contaminat hauria de provocar els primers símptomes en l'aparell respiratori. Snow va suggerir que l'extrema diarrea que caracteritzava la malaltia podia ser el mecanisme de difusió dels gèrmens d'una víctima a l'altra. Aquests gèrmens estarien immersos en el fluid que els pacients expel·lien. Si només unes gotetes d'aquest fluid entressin en contacte amb una font pública de subministrament d'aigua, els gèrmens de la malaltia es podrien escampar per tota la població.

Tot i les diferències amb altres científics, Snow va idear la seva teoria segons la qual l'aigua que la gent bevia era la font primària de contagi.

L'estiu de 1853, va sorgir un brot de còlera al districte on Snow treballava. Aleshores buscant les possibles causes, va descobrir que dues empreses privades estaven subministrant aigua al districte. Una d'elles, "the Southwark and Vauxhall Water Company" obtenia l'aigua d'una zona del riu Tàmesi força contaminada pel clavegueram. Així doncs, Snow va començar a recollir dades sobre les víctimes del còlera investigant l'empresa que els subministrava l'aigua, i va poder determinar que 286 de les 334 víctimes eren clients de l'empresa contaminada, mentre que només 14 ho eren de l'altra empresa. Tot i la força de les evidències que va poder recollir i presentar, les seves teories encara no eren acceptades per la comunitat científica.

A finals de l'agost del 1853, un nou brot de còlera va sorgir al districte londinenc del Soho. Quan la notícia va arribar a oïda de Snow, va decidir recollir una mostra de la bomba d'aigua de Broad Street, ja que la major part de les morts havien tingut lloc al seu voltant. Ell ja sabia que l'empresa que subministrava aigua a la bomba presentava una font neta, però sospitava que el pou sota la bomba podria haver-se contaminat per la pròxima presència d'alguna canonada. Aparentment, la mostra recollida tampoc mostrava signes de contaminació. Així doncs, com que les proves físiques no eren conclusives, Snow va decidir recopilar dades estadístiques per elaborar un mapa que mostrava on vivien les víctimes i d'on van obtenir l'aigua. Així va poder concloure que la bomba d'aigua més propera a la residència de la majoria de les víctimes era efectivament la bomba del Broad Street, fet que demostrava l'associació de les morts amb l'aigua d'aquella bomba.

Durant els següents dies va anar recollint més evidències per carregar-se de raons. Va visitar una cafeteria prop del Broad Street on el propietari va dir-li que ell normalment servia l'aigua de la bomba, i que conseqüentment 9 dels seus clients havien mort. La mateixa història es repetia en molts més locals.



IMATGE 2: MAPA ELABORAT PER JOHN SNOW DE LA ZONA ON VA SORGIR EL BROT EPIDÈMIC DE CÒLERA AMB LA BOMBA D'AIGUA DEL BROAD STREET MARCADA AMB UN PUNT NEGRE I LES VÍCTIMES REPRESENTADES AMB RECTANGLES NEGRES. [OBTINGUT DE [HTTP://COMMONS.WIKIMEDIA.ORG/WIKI/FILE:SNOW-CHOLERA-MAP-1.JPG](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:SNOW-CHOLERA-MAP-1.JPG)]

El 25 de setembre es va inspeccionar si el revestiment del pou que hi havia sota la bomba estava intacte, i es va determinar que no era possible la filtració d'aigua des de cap claveguera perquè la més propera estava situada a 10 peus de distància i a més profunditat que el pou. Aquest fet feia que la teoria de Snow no fos prou consistent, però ell hi seguia creient.

El desenllaç final va arribar mesos després, quan revisant historials, Whitehead*, un company de Snow, va trobar-se amb el cas d'un nadó que va morir el 2 de setembre, després de patir un atac de diarrea quatre dies abans. Aleshores van adonar-se que aquell havia estat el primer cas de còlera al barri, ja que va mostrar símptomes abans que ningú. I també van veure que la bomba de Broad Street estava just davant de casa seva. Llavors van decidir anar a parlar amb la mare del nadó mort, qui els va dir que quan aquest estava malalt, va rentar els seus bolquers en un antic desguàs que no estava documentat. Van investigar, i va resultar que la claveguera del desguàs passava molt a prop del pou sota la bomba, i que el tros de sòl d'enmig mostrava signes de percolació de residus de la claveguera al pou.

Les inspeccions prèvies no van veure el problema perquè el sòl no es va examinar, i no es tenia constància de la presència d'una claveguera que passés tant a prop del pou.

I així va ser com John Snow, pels seus persistents esforços en determinar com la còlera es propagava i pels mètodes estadístics que va iniciar, va aconseguir el reconeixement de ser considerat el pare de l'epidemiologia.

3.1.2 Ignác Semmelweis

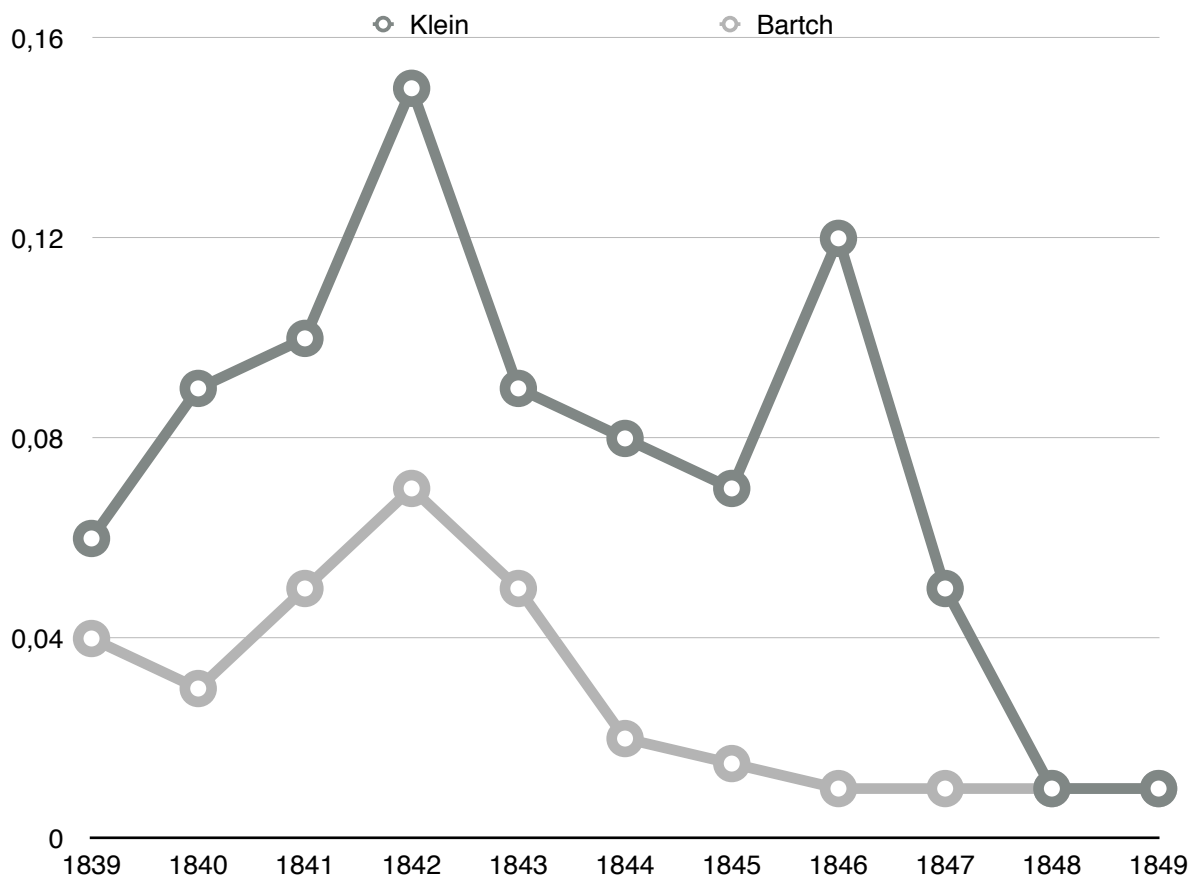
Quan Ignác Semmelweis^[13] (1818 - 1856) va començar a treballar a l'hospital de Viena, observava amb preocupació l'alta taxa de mortalitat entre les dones que acabaven de parir, a causa de la febre alta i forts dolors originats per processos infecciosos septicèmics†. L'hospital disposava de dues sales de parts: una dirigida pel doctor Klein on la mortalitat era molt alta, i una altra dirigida pel doctor Bartch on era més baixa.

Semmelweis, sorprès per aquestes dades, va començar a estudiar les diferències entre les dues sales. La que era dirigida pel doctor Klein era més visitada pels estudiants de medicina, els quals atenien a les dones just després de les seves sessions de medicina forense. En canvi, la sala de parts de Bartch era més utilitzada per les llevadores, les quals es netejaven les mans abans d'assistir les dones durant el part.

Així doncs, el 1846, Semmelweis va impulsar la instal·lació d'un rentamans a l'entrada de les sales de parts i va obligar els estudiants a rentar-se les mans abans d'atendre els pacients. El resultat, tal com s'aprecia en les gràfiques, va ser una disminució de la mortalitat entre les dones.

* Henry Whitehead (1825-1896), va ser un clergue de l'Església d'Anglaterra, que vivia a Londres quan es va produir el brot de còlera, i que va col·laborar amb Snow en la recerca de la font contaminada.

† Infecció generalitzada greu causada per un focus infecció dins del cos, del qual constantment passen gèrmens patògens a la sang circulant.



GRÀFIC 1: TAXES DE MORTALITAT EN LA SALA DIRIGIDA PEL DOCTOR KLEIN I EN LA SALA DIRIGIDA PEL DOCTOR BARTCH DE L'HOSPITAL DE VIENA ENTRE ELS ANYS 1839 I 1849. [GRÀFIC EXTRET DEL LLIBRE DE E. NELSON, KENRAD. *INFECTIOUS DISEASE EPIDEMIOLOGY*] [8]

3.2 Els models matemàtics

El primer individu que va començar a utilitzar models matemàtics per intentar predir quina evolució seguiria una epidèmia va ser Daniel Bernoulli* el 1760. En aquella època, la pràctica de la variolització, que consistia a transferir material infectat d'un gra de pus de verola a individus no infectats per produir-los una infecció lleu (anomenada a vegades "verola artificial") amb l'objectiu que desenvolupessin la immunitat per tota la vida, generava molta controvèrsia, ja que aquesta "verola artificial" a vegades produïa la mort. Aquest debat va interessar molt a Bernoulli, qui va decidir que la millor manera d'avaluar les conseqüències sobre la salut pública que comportava la variolització era fer servir un raonament matemàtic. El propòsit principal de les seves anàlisis era promoure la inoculació universal contra la verola. I va defensar aquesta posició, tot calculant els individus que cada any sobreviurien si aquesta malaltia s'eliminés finalment com a principal causa de mort. [14]

* Daniel Bernoulli (1700-1782) va ser un matemàtic neerlandès conegut principalment pels seus treballs de mecànica de fluids, probabilitat i estadística.

Posteriorment, durant molts anys no es va tornar a parlar de models matemàtics en l'estudi del comportament de les epidèmies. No va ser fins al segle XX que es va reprendre la idea d'elaborar-ne per predir l'evolució d'una determinada infecció i així poder-li fer front. El primer a intentar-ho va ser Sir Ronald Ross el 1900, un metge anglès que mentre treballava al servei mèdic de l'Índia, es va interessar força per la malària, i va arribar a descobrir que la transmissió d'aquesta malaltia es produïa per picada de mosquit.^[15]

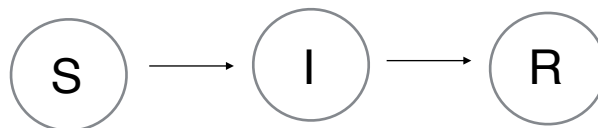
Uns quants anys més tard, Kermack i Mckendrick van desenvolupar un model que ha resultat ser un dels més importants i més utilitzats en la matèria que ens ocupa.

3.2.1 El model de Kermack i Mckendrick

El 1927, Kermack (1889 - 1970) i Mckendrick (1876 - 1943), dos epidemiòlegs escocesos, van formular un model^[16] les prediccions del qual s'acostaven molt al comportament real observat en nombroses epidèmies de malalties que envaeixen una població sobtadament, després creixen en intensitat, i posteriorment desapareixen deixant part de la població inalterada.

El seu és un model compartimental on es divideix la població en tres grups. Els susceptibles, on figuren els individus que encara no han estat infectats per la malaltia. El grup dels infectats, on hi consten els individus que han adquirit la infecció i que per tant són capaços de propagar la malaltia mitjançant el contacte amb els susceptibles. I l'últim grup, format pels individus, els quals han estat infectats i posteriorment han mort, o simplement han perdut la capacitat de tornar-se a infectar i s'han recuperat. També s'inclouen en aquest grup els individus que ja eren immunes a la malaltia i aquells que han estat aïllats de la població.

Així doncs, per descriure el comportament d'una epidèmia que confereix immunitat als individus recuperats de la infecció s'utilitza la terminologia SIR, ja que l'ordre dels estats pels quals passen els individus és el següent:



La notació que utilitzem per descriure el model és la següent:

S_t = nombre d'individus susceptibles d'una població en un temps t .

I_t = nombre d'individus infectats d'una població en un temps t .

R_t = nombre d'individus recuperats d'una població en un temps t .

N = mida de la població.

Si definim els tres grups com a fraccions del total de la població:

$s_t = S_t/N$ (la fracció susceptible d'una població en un temps t)

$i_t = I_t/N$ (la fracció infectada d'una població en un temps t)

$r_t = R_t/N$ (la fracció recuperada d'una població en un temps t)

Com que cada individu de la població és en un d'aquests tres grups, $S_t + I_t + R_t = N$ i

$$s_t + i_t + r_t = 1.$$

Tal com es pot observar en l'esquema, un individu es mou del grup dels susceptibles cap al grup dels infectats després d'entrar en contacte amb un altre individu infectat. El tipus de contacte necessari per infectar-se depèn de la malaltia, pot ser un contacte sexual, o simplement passar per davant d'una persona que té la grip.

Suposem que cada persona infectada entra en contacte amb γ individus per unitat de temps de mitjana. Però com que no cada contacte resulta en una transmissió de la malaltia, només un α per cent, el nombre de transmissions és de $\gamma * \alpha = \beta$. Per tant definim β com el nombre mitjà de transmissions possibles d'una persona infectada en cada període de temps.

Si assumim que els diferents individus es troben barrejats a l'atzar, i que la transmissió de la malaltia només es pot donar quan un individu infectat i un altre susceptible entren en contacte, com que només un s_t per cent de la població és susceptible, cada persona infectada genera βs_t nous infectats en cada període de temps. També definim la fracció dels infectats que es recupera (o mor) en cada període de temps i l'anomenem κ .

Per descriure el moviment dels individus d'una població durant una epidèmia hi ha tres equacions, una per a cada estat.

La primera equació expressa que el nombre d'individus susceptibles en un temps de $t+1$, és igual als individus susceptibles que hi havia en un temps t , menys els individus que s'han infectat.

$$S_{t+1} = S_t - \beta s_t I_t$$

La segona equació expressa que el nombre d'individus recuperats en un temps de $t+1$, és igual als individus que ja estaven recuperats en un temps t , més els infectats que ja s'han recuperat.

$$R_{t+1} = R_t + \kappa I_t$$

La tercera equació expressa que el nombre d'individus infectats en un temps de $t+1$, és igual als individus infectats en un temps t , més els que s'han infectat, menys els que s'han recuperat.

$$I_{t+1} = I_t + \beta s_t I_t - \kappa I_t = I_t(1 + \beta s_t - \kappa)$$

De la mateixa manera, podem escriure aquestes tres equacions en termes de fraccions de la població:

$$s_{t+1} = s_t - \beta s_t i_t$$

$$r_{t+1} = r_t + \kappa i_t$$

$$i_{t+1} = i_t(1 + \beta s_t - \kappa)$$

Estat constant, creixement i decreixement.

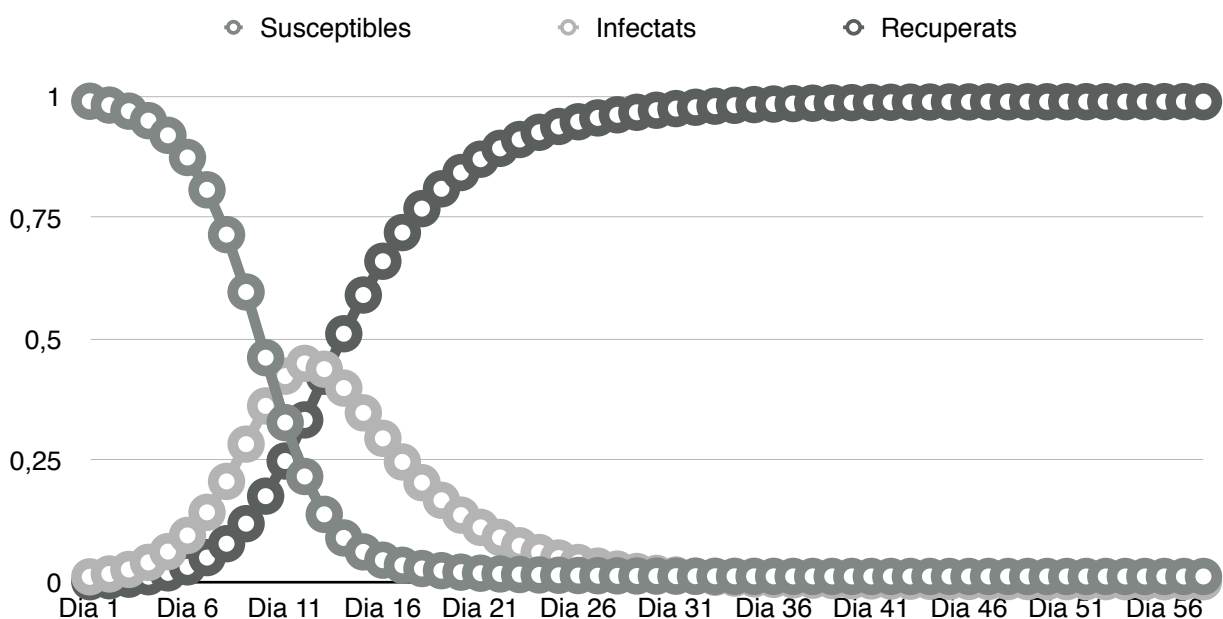
En aquest model, si $i_t = 0$, llavors i_{t+1} també és igual a zero, per tant, si no hi ha gent infectada, el model no es mou i es manté en un estat constant. Però si $i_t > 0$, com podem saber si el nombre d'infectats està creixent o està disminuint? Ho podem deduir a partir de l'equació $i_{t+1} = i_t(1 + \beta s_t - \kappa)$. Definim $\rho_t = 1 + \beta s_t - \kappa$. Si ρ_t és més gran que 1, llavors $i_{t+1} > i_t$ i per tant el nombre d'individus infectats està creixent. Però si ρ_t és menor que 1, llavors $i_{t+1} < i_t$ i per tant el nombre d'individus infectats està disminuint. Així doncs, podem dir si el nombre d'infectats augmenta o disminueix fixant-nos només en la taxa de transmissió βs_t i en la taxa de recuperació κ , ja que si $\beta s_t > \kappa$, llavors $\rho_t > 1$. I si $\beta s_t < \kappa$, llavors $\rho_t < 1$.

Si ens fixem ara en el nombre d'individus susceptibles, podem observar que disminueix sempre que el nombre d'infectats és més gran que zero, i quan aquest és zero, es manté estable. En canvi, si ens fixem en el nombre d'individus recuperats, observem que augmenta sempre que el nombre d'infectats és més gran que 1, i quan aquest nombre és zero, també es manté estable.

La dinàmica de l'epidèmia

Per entendre millor la dinàmica que segueix l'epidèmia quan es propaga per una població, utilitzarem un full de càlcul que, a partir de les equacions de cada grup i amb unes condicions inicials que hem fixat ens calcularà el nombre d'individus de cada grup en cada període mitjançant les dades de l'anterior període.

Les condicions inicials són les següents: la població és de 100 persones, entre les quals només hi ha un infectat inicial. La taxa de transmissió és de 0,8, i una persona infectada triga 5 dies a recuperar-se, per tant, la taxa de recuperació és d'1/5 (un individu recuperat per període de temps).



GRÀFIC 2: GRÀFIC QUE MOSTRA L'EVOLUCIÓ DE L'EPIDÈMIA. [FONT PRÒPIA]

	Fracció de Susceptibles	Fracció d'Infectats	Fracció de Recuperats	Taxa de transmissió	Taxa de recuperació
Dia 1	0,99	0,01	0,00	0,8	0,2
Dia 2	0,98	0,02	0,00	0,8	0,2
Dia 3	0,97	0,03	0,01	0,8	0,2
Dia 4	0,95	0,04	0,01	0,8	0,2
Dia 5	0,92	0,06	0,02	0,8	0,2
Dia 6	0,87	0,10	0,03	0,8	0,2
Dia 7	0,81	0,14	0,05	0,8	0,2
Dia 8	0,72	0,21	0,08	0,8	0,2
Dia 9	0,60	0,28	0,12	0,8	0,2
Dia 10	0,46	0,36	0,18	0,8	0,2
Dia 11	0,33	0,42	0,25	0,8	0,2
Dia 12	0,22	0,45	0,33	0,8	0,2
Dia 13	0,14	0,44	0,42	0,8	0,2
Dia 14	0,09	0,40	0,51	0,8	0,2
Dia 15	0,06	0,35	0,59	0,8	0,2
Dia 16	0,04	0,30	0,66	0,8	0,2
Dia 17	0,03	0,25	0,72	0,8	0,2
Dia 18	0,03	0,20	0,77	0,8	0,2
Dia 19	0,02	0,17	0,81	0,8	0,2
Dia 20	0,02	0,14	0,84	0,8	0,2
Dia 21	0,02	0,11	0,87	0,8	0,2
Dia 22	0,02	0,09	0,89	0,8	0,2
Dia 23	0,01	0,07	0,91	0,8	0,2
Dia 24	0,01	0,06	0,93	0,8	0,2
Dia 25	0,01	0,05	0,94	0,8	0,2
Dia 26	0,01	0,04	0,95	0,8	0,2
Dia 27	0,01	0,03	0,96	0,8	0,2
Dia 28	0,01	0,03	0,96	0,8	0,2
Dia 29	0,01	0,02	0,97	0,8	0,2

TAULA 1: FULL DE CàLCUL UTILITZAT PER REPRESENTAR EL MODEL SIR. [FONT PRÒPIA]

La immunitat de grup

La immunitat de grup és la immunitat que s'esdevé quan la vacunació d'una part de la població proporciona protecció també a individus no vacunats. Per tant, no és necessari immunitzar tota la població per prevenir la propagació d'una epidèmia.

Quan un individu està immunitzat, no pot agafar la malaltia ni transmetre-la a algú altre. Des de la perspectiva del model, això només vol dir que una persona immune passa directament de l'estat susceptible a l'estat de recuperada, sense passar per la fase d'infecció.

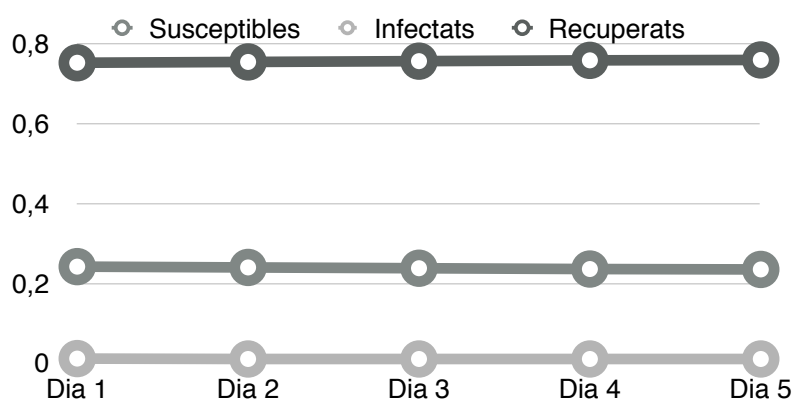
Immunitzar la gent és costós, per tant, la intenció és protegir la població de la malaltia al menor cost possible. Així doncs, hem de veure quina fracció d'individus susceptibles hem de vacunar perquè la malaltia desaparegui, és a dir, perquè $1 + \beta s_t - \kappa$ sigui més petit que 1, ja que això significa que el nombre d'individus infectats en el temps $t+1$ serà menor que el nombre d'individus infectats en el temps t . Per tant, si comencem, com en l'exemple, amb 1 infectat, aquest ja no serà capaç d'infectar a ningú.

Si aïllem els susceptibles de la inequació $1 + \beta s_t - \kappa < 1$, obtenim $s_t < \kappa/\beta$, per tant hem d'immunitzar l' $1 - \kappa/\beta$ per cent dels individus susceptibles.

Si ho apliquem a l'exemple anterior on $\beta = 0,8$ i $\kappa = 0,2$, la fracció d'individus susceptibles que hem de vacunar per tal que l'epidèmia no es propagui és d' $1 - 0,2/0,8 = 0,75$. Si ho comprovem amb el full de càlcul i la gràfica, observem l'epidèmia no avança.

	Fracció de Susceptibles	Fracció d'Infectats	Fracció de Recuperats	Taxa de transmissió	Taxa de recuperació
Dia 1	0,24	0,01	0,75	0,8	0,2
Dia 2	0,24	0,01	0,75	0,8	0,2
Dia 3	0,24	0,01	0,75	0,8	0,2
Dia 4	0,23	0,01	0,76	0,8	0,2
Dia 5	0,23	0,01	0,76	0,8	0,2

TAULA 2: FULL DE CàLCUL UTILITZAT PER MOSTRAR EL FENOMEN DE LA IMMUNITAT DE GRUP. [FONT PRÒPIA]



GRÀFIC 3: GRÀFIC QUE IL·LUSTRA LA IMMUNITAT DE GRUP. [FONT PRÒPIA]

3.3 Els models basats en agents (MBA)

Un dels principals problemes dels models matemàtics és que consideren una població homogènia, on qualsevol individu té la mateixa probabilitat de contactar amb qualsevol altre i transmetre-li la malaltia, però la realitat no és tal com la descriuen aquests sistemes.

En canvi, un model basat en agents (que a partir d'ara abreujaré sovint amb les seves sigles MBA) és un tipus de model computacional que permet la simulació d'accions i interaccions d'individus autònoms dins d'un entorn, per poder determinar quins efectes produeixen en el conjunt del sistema. Aquests models simulen les operacions simultànies d'entitats múltiples (agents), per recrear i predir les accions de fenòmens complexos, com pot ser la propagació d'una epidèmia. D'aquesta manera no hi ha dos individus que es comportin igual, per tant el model és totalment heterogeni.

3.3.1 John Conway i el Joc de la vida

John Conway és un matemàtic britànic que va contribuir al desenvolupament dels MBA, creant el 1970 el Joc de la vida.^[17]

Tot i el títol, no es tracta d'un joc en el sentit convencional. No hi ha jugadors, ni tampoc es guanya o es perd. Un cop les "peces" es col·loquen en la posició inicial, les normes determinaran tot el que passi després.

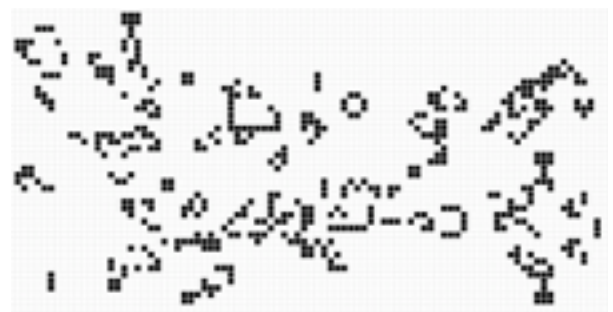
El Joc de la vida es juga en una quadrícula amb cel·les que s'estenen fins a l'infinit en totes direccions. Cada cel·la pot estar viva o morta. Si està viva, apareix pintada, i si està morta, apareix buida. Cada cel·la de la quadrícula té vuit cel·les veïnes, a partir de les quals s'estableixen les següents normes del joc:

Una cel·la morta amb exactament tres cel·les veïnes vives esdevé una cel·la viva (naixement).

Una cel·la viva amb dues o tres cel·les veïnes continua viva (supervivència).

En tots els altres casos, la cel·la mor o continua morta (superpoblació o solitud).

A partir d'aquestes tres simples normes, apareixien patrons i comportaments molt complexos i elaborats. L'estudi per part dels científics d'aquests fenòmens, els va fer pensar que, potser, comportaments que semblen intel·ligents, com per exemple els que veiem en les colònies de formigues, podrien ser senzillament el resultat de normes simples que encara no entenem.



IMATGE 3: QUADRÍCULA DEL JOC DE LA VIDA AMB PATRONS COMPLEXOS.
[OBTINGUDA DE [HTTPS://WWW.DOC.IC.AC.UK/PROJECT/EXAMPLES/2012/163/G1216326/GAME.PHP](https://www.doc.ic.ac.uk/project/examples/2012/163/G1216326/game.php)]

3.3.2 StarLogo i la proliferació dels MBA

Amb l'aparició de StarLogo el 1990, un programa que et proporcionava un entorn per programar models i explorar els comportaments de sistemes complexos, la programació dels models va tornar-se viable per a pràcticament tothom, i els dominis dels MBA van començar créixer.

StarLogo va ser dissenyat per ajudar els estudiants a desenvolupar noves maneres de pensar i d'entendre els sistemes complexos. I per simplificar el llenguatge de programació, es van basar en la versió tradicional del Logo, on pots crear dibuixos i animacions donant ordres a un agent, anomenat "turtle", a la pantalla de l'ordinador.

StarLogo va estendre aquesta mateixa idea, permetent controlar centenars de "turtles" a la vegada. A més a més, també van fer que el món de les "turtles" fos computacionalment actiu, de tal manera que poguessis programar alhora centenars de "patches", o cel·les de la quadrícula, que constituïen l'entorn dels agents. Així, les "turtles" i els "patches" podien interactuar entre ells.^[18]

D'aquesta manera, StarLogo va aconseguir que sistemes que tradicionalment no havien estat disponibles per persones sense coneixements avançats de matemàtiques o de programació, ara estiguessin pràcticament a l'abast de tothom.

Fins ara, els MBA s'han utilitzat sobretot en matèries relacionades amb la biologia, com ho és l'ecologia i l'estudi de la dinàmica dels ecosistemes, l'epidemiologia i l'estudi de la transmissió de les malalties, i fins i tot s'han fet servir per analitzar la possible evolució de la propagació d'un incendi.

Altres àrees importants que s'han servit d'aquest invent han estat les vinculades a les ciències socials. Alguns exemples són l'estudi de fenòmens com els de la cooperació entre individus amb diferents interessos. L'estudi de com la interacció entre els parlants de diferents variants d'una llengua poden acabar modificant-la. Trobar quin és el lloc òptim per obrir una botiga i atraure el màxim nombre de clients possibles, tenint en compte la competència. O veure com es configuren diferents grups de persones en una festa, considerant els diferents nivells de tolerància dels individus cap a la gent que no és del mateix sexe.^[19]

Com es pot comprovar, el nombre d'escenaris diferents que pot simular un MBA és pràcticament il·limitat.

4. Desenvolupament de dos models basats en agents

La part experimental d'aquest treball consisteix en el desenvolupament de dos MBA, el primer basat en la mobilitat dels agents, i el segon en una xarxa de contactes, tots dos capaços de representar la hipotètica propagació d'una epidèmia per un entorn concret. A més a més de la realització de diverses simulacions per obtenir uns resultats conclusius que permetin confirmar les hipòtesis plantejades.

L'entorn que he escollit ha estat l'institut Arnau Cadell de Sant Cugat del Vallès perquè el comportament dels més de 550 agents és complex, però la seva modelització està al meu abast, ja que es pot conèixer, amb més o menys exactitud, el moviment de cada agent durant els dies lectius i les seves relacions principals amb els altres agents.

Per realitzar la modelització he utilitzat el programa NetLogo, una actualització més moderna de StarLogo, ja que amb un llenguatge de programació simple i amb l'ajuda dels tutorials es pot arribar a simular gairebé qualsevol fenomen, sigui social o natural.

Les explicacions de les construccions dels models i la seva utilització són necessàriament complicades. Per això he procurat agrupar els diferents passos que he anat seguint en apartats ben estructurats, de forma que poden llegir-se a diferents nivells. No és imprescindible seguir una darrera l'altre totes les explicacions dels mateixos; és possible saltar els aspectes més tècnics i passar ràpidament d'un apartat a l'altre.

Així doncs, resumidament, a l'apartat 4.1 s'explica en mode de tutorial com funciona l'eina de programació NetLogo a partir d'un exemple ja fet. A l'apartat 4.2 es mostra molt tècnicament com he anat construint el primer model. A l'apartat 4.3 utilitzo el model 1 per realitzar simulacions amb diferents paràmetres. De cadascuna se n'ha fet una fitxa, i abans de les conclusions, de cada grup de simulacions en comento els aspectes més destacables, on resumeixo els comentaris dels gràfics de cada fitxa. L'apartat 4.4 és semblant al 4.2, ja que també s'hi mostra molt tècnicament com he anat construint el model basat en una xarxa de contactes. Finalment, a l'apartat 4.5 utilitzo aquest segon model per realitzar més simulacions. En aquest cas tampoc és necessari mirar-les totes detalladament, ja que també resumeixo els aspectes més destacables de cada grup d'escenaris.

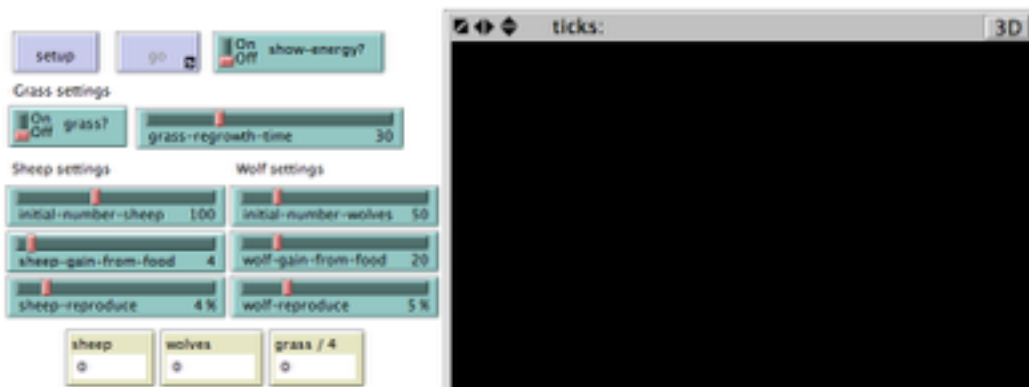
Per tant, si no es vol aprofundir tant en la programació ni estudiar cada simulació amb deteniment, és possible fer una lectura més global d'aquest apartat, sense deixar d'entendre el que s'ha fet.

4.1 El funcionament del NetLogo

Per entendre millor aquest tutorial inicial és recomanable anar seguint les explicacions amb el programa NetLogo obert a l'ordinador. La seva instal·lació és totalment gratuïta, només cal anar a la seva pàgina web oficial (<https://ccl.northwestern.edu/netlogo/>) i descarregar-lo.

4.1.1 Observant un model

Quan obres per primer cop qualsevol model fet amb el programa NetLogo, el primer que veus és la interfície plena de botons, interruptors, barres de desplaçament, monitors i gràfics.^[20] Tots aquests elements et permeten interactuar amb el model. Els botons preparen, inicien i paren el model. Els interruptors i les barres de desplaçament modifiquen els ajustos del model. I els monitors i els gràfics mostren l'evolució d'indicadors específics.



IMATGE 4: INTERFÍCIE DEL MODEL “WOLF SHEEP PREDATION”. [FONT PRÒPIA]

També t'adonaràs que la “view”, és a dir, la visualització gràfica dels agents en el model, està buida (negra). Per començar a fer funcionar un model primer has de prémer el botó “setup”, que dipositarà els agents al seu entorn. I després el botó “go”, que farà que es comencin a moure. Per aturar el model, només cal tornar a prémer el botó “go”. Per tant, com has pogut comprovar, quan es prem un botó, el model respon amb una acció.

Per controlar la velocitat d'un model, és a dir, la velocitat a la qual les “turtles” (els agents mòbils) es mouen, els “patches” (trossos de superfície de l'entorn en què les “turtles” es mouen) canvien de color, etc. Només cal moure la barra de desplaçament de la velocitat cap a l'esquerra, si vols que tot vagi més a poc a poc, és a dir, que hi hagi pauses més llargues entre cada “tick” (període de temps). Això fa que sigui més fàcil veure el que està passant. Si fas el contrari i la mous cap a la dreta, el model s'accelera i la “view” no s'actualitza al final de cada “tick” per tal que el progrés sigui més ràpid.

Els diferents interruptors i les barres de desplaçament et permeten explorar diferents escenaris i hipòtesis modificant els ajustos del model. Observar com reaccionen els agents et pot fer entendre millor el fenomen que estàs modelitzant.

Pel que fa als monitors i als gràfics, són unes eines que et permeten obtenir informació sobre el model que està funcionant en temps real. Per exemple, els gràfics poden mostrar l'evolució del nombre d'agents infectats i d'agents susceptibles al llarg del temps. I els monitors simplement mostren el nombre d'agents que hi ha en cada període de temps.

La mida de la “view” està determinada per diferents elements: les “pxcor”, les “pycor” i la mida d’un “patch”. Per canviar-los has de prémer el botó “settings” de la barra d’eines. El món de NetLogo és una graella de “patches” de dues dimensions. Els “patches” són els quadrats individuals de la graella. Al centre d’aquest món hi ha el “patch” (0,0), per tant tenim un sistema de coordenades que ens permet localitzar els agents al món. Les “pxcor” són les coordenades x dels “patches”, i les “pycor” són les coordenades y.

4.1.2 Manipulant un model

Per realitzar canvis simples sense modificar el comportament del model s'utilitza el centre de comandament, que es troba a la pestanya de la interfície.^[21] Amb ell pots donar instruccions als agents. Per exemple, pots escriure: “ask patches [set pcolor yellow]”. Llavors observaràs que tots els pedaços es tornen de color groc. També pots escriure: “ask turtles [set color brown]”, perquè totes les “turtles” es tornin de color marró.

Anomenem el “color” i el “pcolor” variables. Algunes variables són específiques per les “turtles”, com és el cas de “color”, i altres són específiques pels “patches”, com “pcolor”.

El que hem fet fins ara ha estat fer servir l’ordre “set” per canviar el color de tots els agents. Si el que volem és només canviar el color d’un únic agent ho podem fer de la següent manera. Primer seleccionem una “turtle” perquè se’ns mostri el seu monitor amb totes les variables que li corresponen. Aleshores podem observar quin és el seu número, quin és el seu color, quina és la seva forma, la direcció que segueix, la seva posició segons les coordenades, la seva mida, la velocitat, etc. Es pot canviar-li el color de dues maneres. Una és anant directament a la variable del color del monitor de la “turtle” i canviar el valor. I l’altra és fent servir el centre de comandament, ja que pots donar ordres que afectin “turtles” individuals o a grups de “turtles”.

Així doncs, només es tracta de saber el valor de la variable número que li correspon a la “turtle” en qüestió, i escriure: “ask turtle 1 [set color blue]”. El que passarà serà que només la “turtle” número 1 canviarà de color. De la mateixa manera també pots canviar el color d’un únic “patch”. L’única diferència és que per referir-nos a un “patch” no utilitzarem un número, sinó les seves coordenades. Per exemple, escriurem: “ask patch -19 3 [set pcolor green]”.

4.1.3 Programant un model

Per començar a construir un model des de zero primer hem de crear el botó “setup”.^[22] Per fer-ho cliquem a la icona “Add” de la barra d’eines de la pestanya de la interfície. Al menú del costat seleccionem “button”. Cliquem el lloc on volem que aparegui de l’àrea blanca de la interfície. Seguidament, una caixa per editar el botó s’obrirà, i escrivim “setup”. Aquest botó serveix per executar un procediment anomenat “setup” que hem de definir a la pestanya del codi.

Un procediment és una seqüència d'ordres. Les escriurem així:

```
to setup
  clear-all
  create-turtles 100
  ask turtles [ setxy random-xcor random-ycor ]
  reset-ticks
end
```

Cada procediment comença i acaba amb “to” i “end” respectivament. L'ordre “clear-all” restableix el món a un estat buit inicial. Tots els “patches” es tornen negres i les “turtles” que hagis creat desapareixen. Bàsicament ho prepara tot per executar el model de nou. L'ordre “create-turtles 100” crea 100 “turtles” que comencen a l'origen de coordenades, és a dir, al “patch” 0,0. Després de crear-les, podem donar-los instruccions, sempre entre claudàtors. Així doncs, l'ordre “setxy random-xcor random-ycor”, farà que cada “turtle” se situï en un punt segons unes coordenades aleatòries. I finalment, “reset-ticks” restableix el comptador de “ticks”.

Un cop escrit el procediment, si cliques el botó “setup”, veuràs les “turtles” disperses pel món.

Per fer el botó “go” només cal seguir els mateixos passos que amb el botó “setup”, però aquest cop, quan apareix la caixa per editar-lo, ens hem d'assegurar que les opcions “forever” i “disable until ticks start” estan seleccionades, ja que volem que les ordres d'aquest procediment s'executin permanentment fins que no tornem a prémer el botó, i no volem poder clicar el botó “go” abans que el “setup”. Al codi escrivim el seu procediment:

```
to go
  move-turtles
  tick
end
```

L'ordre “tick” augmenta el comptador de “ticks” en 1 cada període de temps. “move-turtles” és un altre procediment que hem de definir:

```
to move-turtles
  ask turtles [
    right random 360
    forward 1
  ]
end
```

L'ordre "ask turtles [...]" diu que cada "turtle" ha d'executar l'ordre que hi ha dintre dels claudàtors. L'ordre "right random 360" fa que cada "turtle" giri cap a la dreta un nombre aleatori de graus. I l'ordre "forward 1" fa que cada "turtle" es mogui una passa cap endavant.

Després de prémer el botó "setup" per crear les "turtles", ara pots clicar el botó "go" perquè es comencin a moure aleatòriament pel món fins que decideixis aturar-ho tornant a clicar el botó "go". Fins aquí, ja tindriem l'expressió més simple d'un model. Amb unes poques instruccions més podem simular un ecosistema d'un ramat pasturant un prat.

Per definir un procediment que prepari els "patches" pels quals les "turtles" es mouen, podem anomenar-lo "setup-patches". Primer l'haurem d'escriure dins del procediment del botó "setup", perquè volem que a l'hora de pitjar-lo també apareguin els "patches". Aleshores ja podrem definir-lo en un procediment a part, i si per exemple, volem que el fons sigui de color verd, com l'herba, podem escriure:

```
to setup-patches
  ask patches [ set pcolor green ]
end
```

Fins ara només hem vist variables que ja estaven definides pel mateix programa, com és el cas de "color". Per crear-ne una de nova, l'hem d'afegir a dalt de tot del codi. Posem per cas que volem que les "turtles" tinguin una energia. Llavors haurem d'escriure "turtles-own [energy]". Acabem de definir una nova variable que podem utilitzar. Si per exemple, volem que cada passa que faci una "turtle" li resti una unitat d'energia, ho podem escriure dins del procediment "move-turtles" així:

```
to move-turtles
  ask turtles [
    right random 360
    forward 1
    set energy energy - 1
  ]
end
```

Si volem que les "turtles" recuperin l'energia perduda menjant herba. Podem imaginar-nos que es mouen per un prat verd, i cada cop que troben un "patch" de color verd, guanyin 10 unitats d'energia i que el "patch" es torni negre, perquè no es puguin alimentar del mateix tros d'herba

sempre. Per fer-ho, primer hauríem de definir un procediment a dins del “go” que s’anomenés

```
to eat
  ask turtles [
    if pcolor = green [
      set pcolor black
      set energy energy + 10
    ]
  ]
end
```

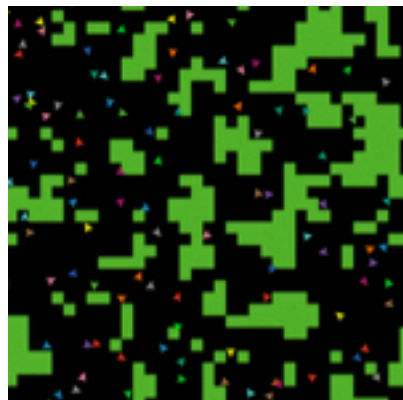
“eat”, és a dir, menjar. Aquest procediment seria de la següent manera:

Fixa't que les “turtles” només guanyen energia, i els “patches” només canvien de color si, “if”, el color del “patch”, “pcolor”, és el verd, “= green”.

Per crear un monitor on apareguin el nombre de “patches” de color verd en cada període de temps, hem d'anar a la pestanya de la interfície, clicar el botó de “Add”, seleccionar “Monitor” i clicar en un punt de l'àrea blanca on ja tenim col·locats els botons “setup” i “go”. Per editar-lo se'ns obrirà una caixa on hi haurem d'escriure “count patches with [pcolor = green]”, perquè vagi comptant només els que compleixin la condició de ser de color verd, “with [pcolor = green]”.

Per crear un gràfic que vagi registrant com decreix el nombre de trossos d'herba a mesura que el temps (nombre de “ticks”) avança, hem de seleccionar “Plot” en lloc de “Monitor”. A la caixa que s'obre per editar-lo, l'anomenem “Nombre de trossos d'herba”. A l'etiqueta de l'eix de les “x” hi escrivim “time”, perquè volem veure l'evolució en el temps, i a l'eix de les “y” hi podem escriure també “trossos d'herba”. A la quadrícula canviem el nom predeterminat, per “herba”, i a la graella dels comandaments hi escrivim “plot count patches with [pcolor = green]”. Finalment pitgem el botó “OK”.

Ara ja podem clicar “setup” i executar el model per anar veient com el gràfic ens va indicant la disminució del nombre de trossos d'herba o “patches with [pcolor = green]”, com a conseqüència del pas de les “turtles” famolenques que se'ls van menjant i així van guanyant energia.



IMATGE 5: LA “VIEW” DEL MODEL QUE ACABEM DE PROGRAMAR. [FONT PRÒPIA]

4.2 Model basat en la mobilitat dels agents «*Model 1*»

En el primer model* que he desenvolupat, la mobilitat dels diferents agents és l'aspecte més important, ja que el mecanisme de transmissió de l'epidèmia es basa en els contactes entre els individus, la interacció dels quals, gràcies a aquesta mobilitat, permet la propagació de la infecció. Abans de començar a programar les característiques del moviment dels agents, però, cal construir l'entorn pel qual volem que les "turtles" es moguin. Per fer-ho he utilitzat el plànol de la distribució de les aules de l'institut disponible a la seva pàgina web, a partir del qual he anat pintant els diferents "patches" per línies. Per exemple, per representar una paret, al codi escric:

```
if pxcor > 9 and pxcor < 91 and pycor = 220 [ set pcolor brown ]
```

D'aquesta manera, els "patches" amb una "x" més gran que 9 i més petita que 91, i amb una "y" de 220, es tornen de color marró.

Tot i tenir el plànol de la distribució de les aules†, que m'ha servit per fer-me una idea de la relació entre les mides de les diferents estructures, he hagut d'adaptar-lo a la interfície del programa, establint unes noves mides.‡ L'amplada total de l'edifici he fet que sigui de 180 "patches", de la x = -90 a la x = 90. La planta baixa, la primera i la segona, tenen unes mides de 180 x 50 "patches". D'aquesta manera, totes les classes fan 20 x 20, i els passadissos tenen una amplada de 10 "patches". Pel que fa a la planta inferior i a la zona del menjador i de la sala d'actes, tenen una distribució força més complexa, però tot i així, fent servir el mateix mètode que amb la resta de plantes, he aconseguit una representació prou fidel a la realitat.

Un cop ja tenim tot el mapa de l'institut dibuixat, necessitem que els agents que s'han de moure per l'entorn construït, siguin capaços d'identificar-lo. Perquè així sigui, fem que cada aula i cada departament siguin una llista, en aquest cas, dels elements que necessitem per identificar-los: les "x" i les "y" de la ubicació del primer alumne, les "x" i les "y" de la ubicació de la porta de l'aula o del departament, el nom de la planta en què es troba, el nom de la classe i les "x" i les "y" de la ubicació dels professors a les aules i als departaments. En total cada llista ha de contenir aquests 8 ítems, tal com es mostra en aquest exemple de la llista de l'aula de 1r B ESO:

```
set aula1Beso [ 31.5 288.5 32 270 "plantasegona" "1Beso" 45 280]
```

* Es pot descarregar des de la pàgina <http://institutarnaucadell.cat/images/TRepidemies/>

† Annex 1.1

‡ Per consultar els plànols modificats del model, anar a l'annex 1.2

Com que per canviar de planta els agents necessiten saber també quina és la ubicació de les escales, fixem els valors de les següents variables:

```
set secondfloorstairsx 20 set secondfloorstairsy 257
set firstfloorstairsx -1 set firstfloorstairsy 188
set mainfloorstairsx 3 set mainfloorstairsy 33
```

El model simula la realitat dins l'institut, i això comporta que per cada hora de cada dia de la setmana, cada professor i cada classe segueixi l'horari establert. Per emmagatzemar tota aquesta informació, primer creem una llista anomenada "timetable", amb els 5 dies lectius de la setmana.

```
set timetable lput divendres lput dijous lput dimecres lput dimarts
lput dilluns [ ]
```

A continuació, per cada dia de la setmana creem una altra llista amb totes les seves hores (les hores d'esbarjo les anomenem "break").

```
set divendres lput divendres6 lput divendres5 lput break lput
divendres4 lput divendres3 lput break lput divendres2 lput
divendres1 [ ]
```

Abans de començar a escriure les aules i els departaments que cada agent té assignats, hem de diferenciar entre alumnes i professors. Per això creem una nova llista per cada hora de cada dia diferenciant l'horari dels alumnes i el dels professors.

```
set divendres6 lput horarialumnesdivendres6
lput horariprofessorsdivendres6 [ ]
```

A dins de cada ítem hi escrivim les aules, en el cas dels alumnes, i les aules o els departaments en el cas dels professors. Això vol dir que hem d'anotar 18 aules, perquè a l'institut hi ha 18 classes, i 45 aules o departaments, perquè a l'institut hi ha 45 professors que, o bé fan classe, o bé treballen al seu departament.


```
set horarialumnesdivendres6 lput aula2Abatx lput aula4Aeso lput  
aula4Ceso ...  
set horarioprofessorsdivendres6 lput gimnas lput gimnas lput  
depmates lput depteconomia ...
```

Amb això ja tenim enllestit el “setup-map”, on hem creat el plànol de l’institut, el “setup-school”, on hem establert les característiques de cada aula i de cada departament, i el “setup-timetable”, on hem pogut determinar l’horari a seguir per cada classe i cada professor.

Ara només falta crear les “turtles” per completar el “setup”. No les creem una per una, sinó que utilitzem una funció del NetLogo que permet, abans de definir les variables, establir diferents tipus de “turtles” anomenades “breeds”, de la següent manera.

```
breed [people1Abatx person1Abatx]  
breed [people1Bbatx person1Bbatx]  
breed [people3Ceso person3Ceso]  
breed [people3Deso person3Deso]  
breed [people1Aeso person1Aeso]  
breed [people1Besos person1Besos] ...
```

Així doncs, creem les “turtles” per classes, a cada una de les quals col·loquem 30 alumnes. També aprofitem per definir les característiques de cada grup.

```
create-people1Abatx 30
ask people1Abatx
  [ set color yellow
    set newfloor "plantasegona"
    set immune? false
    get-healthy
    set degree "1batx"
    set level "batx"]
create-people1Bbatx 30
ask people1Bbatx
[ set color yellow
  set newfloor "plantasegona"
  set immune? false
  get-healthy
  set degree "1batx"
  set level "batx"]...
```

L'ordre en el qual anem creant els diferents grups és molt important, perquè més endavant, veurem com s'ubiquen els alumnes en una classe, i comprovarem que hi ha exactament 30 llocs, una per cada alumne, que seran ocupats per les primeres "turtles" creades. La següent aula, per tant, l'ompliran les següents 30 "turtles", i així fins a completar-les totes. L'ordre que determina quina aula s'omple primer és el que s'estableix a l'horari.

Per acabar el "setup", farem que cada hora duri 1.000 "ticks" i que cada dia en duri 12.000.

```
set hour 1000
set day 12000
```

4.2.1 El comportament dels agents del «*Model 1*»

El procediment que conté l'algoritme central gràcies al qual el funcionament del model és l'adequat, presenta diferents bucles, condicions, assignacions i altres procediments. Això fa que sigui força més complicat que l'exemple del tutorial. Així doncs, per assolir una bona comprensió del seu mètode de funcionament, intentaré que les meves explicacions siguin molt entenedores.

El procediment anomenat “go”, que s'executa quan es prem el botó “go” de la interfície, comença amb el “foreach timetable”. Es tracta d'un bucle el significat del qual és que, per cada element de la llista “timetable”, o en altres paraules, per cada un dels cinc dies lectius, es dugui a terme tot allò que hi ha entre els claudàtors que el mateix bucle precedeix.

```
to go

  foreach timetable
    [
      ...
    ]
end
```

El que ens interessa primerament és que els individus sàpiguen entrar a l'institut i dirigir-se al seu lloc. Per fer-ho, anomenem “firsthour” a l'ítem 0 de cada un dels ítems de la llista “timetable”, és a dir, la primera hora de cada dia. Aleshores establim que l'ítem 1 de “firsthour” sigui l'horari dels

```
foreach timetable
  [
    let firsthour (item 0 ?)
    set studentsschedule (item 1 firsthour )
    studentsubication
    set professorsschedule (item 0 firsthour )
    professorsubication
    ...
  ]
end
```

alumnes, i l'anomenem “studentsschedule”, i establim que l'ítem 0 de “firsthour” sigui l'horari dels professors, anomenant-lo “professorsschedule”.

Això ens dóna accés a l'horari de cada professor i de cada alumne que ara utilitzarem per ubicar-los al seu lloc amb els procediments “studentsubication” i “professorsubication”.

El procediment que ubica els professors, anomenat “professorsubication”, és similar al “studentsubication”, però la presència d’un únic bucle el simplifica bastant. En primer lloc li atorguem a la variable “firstprofessor” el valor de 0. I posteriorment ja iniciem el bucle, que es repetirà per cada un dels ítems de la llista “professorsschedule”, els quals són cada un dels departaments o cada una de les aules que a cada professor li pertoca, segons l’hora del dia.

```
to professorsubication
  let firstprofessor 0
  foreach professorsschedule
    [
      ...
    ]
end
```

Les coordenades de la posició de cada professor en una classe o en un departament s’obtenen dels ítems 6 i 7 de la llista de cada aula o departament de l’horari dels professors, definides al “setup-school”. De la mateixa manera, els ítems 2 i 3 corresponen a les coordenades de les portes, l’ítem 4 és la planta on es troba l’aula o el departament, i l’ítem 5 correspon al nom assignat a l’aula o al departament.

```
foreach professorsschedule
  [ let professorx (item 6 ?)
    let professory (item 7 ?)
    let portax (item 2 ?)
    let portay (item 3 ?)
    let destinationclass (item 5 ?)
    let destinationfloor ( item 4 ?)...
```

Per dirigir-nos a un professor diferent cada una de les 45 vegades que es repeteix el bucle (una per cada professor), com que ja hem establert com a 0 la variable “firstprofessor”, al final del bucle només cal sumar-li una unitat (set firstprofessor firstprofessor + 1). Així, si escrivim “ask professor (540 + firstprofessor)”, ens estarem dirigint, per cada repetició a una “turtle” el número de la qual va del 540 al 584, ja que les que van del 0 al 539 són alumnes.

```
ask professor ( 540 + firstprofessor)
  [
    ...
  ]
  set firstprofessor firstprofessor + 1
```

D'aquesta manera podem canviar el nom de les variables de cada professor, obtingudes dels ítems de les llistes del seu horari, per facilitar la mobilitat entre classes i departaments. Així doncs, les coordenades “x” de cada professor passen a anomenar-se “deskx” i les coordenades “y” passen a dir-se “desky”. Les coordenades de la porta passen a dir-se “doorx” i “doory”, i posteriorment “previousdoorx” i “previousdoory”, per poder diferenciar la posició de la porta a la qual cada professor s’ha de dirigir, i la posició de la porta de l’aula o del departament en què està. De la mateixa manera ocorre amb “destinationclass” i “destinationfloor”.

```
ask professor ( 540 + firstprofessor)
  [
    set deskx professorx
    set desky professory
    set previousdoorx doorx
    set previousdoory doory
    set doorx portax
    set doory portay
    set previousclass newclass
    set newclass destinationclass
    set previousfloor newfloor
    set newfloor destinationfloor
  ]...
```

Per acabar aquest procediment, a tots els professors se’ls concedeix la “location” “classroom”.

```
...
ask professors
  [ set location "classroom"
  ]
end
```

Per facilitar l'explicació del procés d'ubicació dels alumnes, és preferible visualitzar cada classe com si es tractés d'una quadrícula. Per efectuar correctament aquesta operació han calgut 3 bucles, però abans hem hagut d'establir com a 0 el valor de les variables "x", "y" i "primeralumne".

```
to studentsubication
  let x 0
  let y 0
  let primeralumne 0
  foreach studentsschedule
    [
      ...
    ]
```

El primer bucle, que engloba els altres dos, permet repetir el procés per cada una de les 18 classes de la llista de l'horari dels alumnes de cada hora de cada dia anomenada "studentsschedule". El segon bucle i el tercer bucle s'entenen millor si a la classe ens imaginem una quadrícula amb 5 columnes i 6 files. El tercer bucle, que s'engloba dins del segon, permet anar col·locant els diferents alumnes en una columna. Per fer que es repeteixi els 6 cops necessaris per omplir cada columna de la quadrícula, la "x" no varia, però al final del bucle a la "y" se li suma una unitat (set $y + 1$). Així doncs, com que la condició inicial del bucle és que es repeteixi sempre que la "y" sigui menor a 6, i a l'inici hem establert que el valor de la "y" era 0, només es repeteix els 6 cops necessaris. El segon bucle, és el que utilitzem per omplir totes les columnes de la quadrícula. Com que n'hi ha 5, el procés s'ha de repetir 5 cops, però per fer que no s'ompli sempre la mateixa columna, al final de cada repetició a la "x" se li suma una unitat (set $x + 1$), i establim que el valor de la "y" torni a ser de 0.

Al final del primer bucle, al valor del "primeralumne", que és de 0 a l'inici, se li sumen 30 unitats (set $\text{primeralumne} + 30$), i es torna a establir un valor de 0 per a la "x". Així, cada cop que el primer bucle es repeteix, és a dir, cada cop que una classe s'omple, el número de cada una de les "turtles" que ocupen la següent classe augmenta en 30 unitats, respecte cada un dels alumnes que ocupaven la mateixa posició de la quadrícula en l'anterior classe.

```
foreach studentsschedule
  [
    ...
    repeat 5
      [ while [ y < 6]
        [
          ...
          set y y + 1
        ]
        set x x + 1
        set y 0
      ]
    set primeralumne primeralumne + 30
    set x 0
  ]
```

D'aquesta manera les repeticions s'efectuen de manera correcta. De fet, si multipliquem $18 \times 5 \times 6$, obtenim el nombre total d'alumnes que hi ha a l'institut, que és de 540.

Per establir quin lloc de la quadrícula de cada classe ocupa cada una d'aquestes 540 "turtles", cada cop que el tercer bucle es repeteix, una "turtle" diferent ha d'ocupar un lloc diferent. Perquè això sigui possible, podem utilitzar els valors de les "x" i les "y", a més a més de la variable "primeralumne". Així doncs, per poder manipular cada cop una "turtle" diferent, podem escriure "ask turtle (y + x * 6 + primeralumne)" dins del tercer bucle. D'aquesta manera ens podrem dirigir, per cada repetició, a una "turtle" diferent, ja que en la primera passada pel segon bucle, les "y" aniran del 0 al 5 i les "x" tindran un valor de 0, en la segona passada, les "y" tornaran a tenir un valor del 0 al 5, però totes les "x" seran iguals a 1, que multiplicades per 6, tindran un valor de 6. Per tant, si en la primera passada ens hem dirigit a les primeres 6 "turtles", en la segona ens dirigim a les següents 6, és a dir, a les que van de la sisena a l'onzena. I així van avançant les passades fins que s'arriba a la cinquena, on la "x" té un valor de 4. Si ho comprovem, el número de l'última "turtle" de la classe serà de $5 + 4 * 6$, que és igual a 29, per tant l'aula ja estarà plena.

```
[ while [ y < 6]
  [ ask turtle (y + x * 6 + primeralumne)
    [ ...
```

Per col·locar cada “turtle” en una posició diferent dins la quadrícula, fem servir les coordenades del primer alumne de cada classe, obtenint-les de cada una de les aules de la llista “studentsschedule”. Les “x” són l’ítem 0, i les anomenem “primeralumnex”, i les “y” són l’ítem 1, i les anomenem “primeralumney”. Així doncs, per col·locar cada una de les 540 “turtles”, la “x” ha de ser igual a “primeralumnex + x * 3”, i la “y” ha de ser igual a “primeralumney - y * 3”. D’aquesta manera, al valor de les coordenades del primer alumne, que sempre està posicionat al punt més elevat i més a l’esquerra de la quadrícula, només varien cada cop que el primer bucle es repeteix, és a dir, cada cop que es canvia de classe. Per cada passada pel tercer bucle, com que les “x” no varien, però les “y” sí, s’aniran omplint les files d’una única columna. I cada cop que es repeteixi el segon bucle, les “x” canviaran, permetent omplir totes les altres columnes. Els valors es multipliquen per 3 perquè volem que hi hagi una distància de 3 “patches” entre les posicions de cada alumne.

```
[ ask turtle (y + x * 6 + primeralumne)
      [
        set deskx primeralumnex + x * 3
        set desky primeralumney - y * 3 ...
```

Ara que ja els tenim a tots col·locats, només falta canviar el nom d’algunes variables, per fer més fàcil la mobilitat entre classes.

Establim que la “x” de cada “turtle” es digui “deskx”, i que la “y” es digui “desky”. També establim que la “portax” i la “portay”, corresponents a les coordenades de les portes de cada aula, obtingudes de la llista “studentsschedule”, passin a dir-se “doorx” i “doory”, i posteriorment “previousdoorx” i “previousdoory”, ja que quan un grup ha de canviar de classe, necessita saber la ubicació de la porta de l’aula en la qual està, per poder sortir, i la ubicació de la porta de l’aula a la qual vol entrar. Per això és important poder diferenciar-les. De la mateixa manera ocorre amb les variables “destinationclass” i “destinationfloor”, obtingudes també de la llista “studentsschedule”, que passen a dir-se “newclass” i “newfloor”, i posteriorment “previousclass” i “previousfloor”.


```
set deskx primeralumnex + x * 3
set desky primeralumney - y * 3
set previousdoorx doorx
set previousdoory doory
set doorx portax
set doory portay
set previousclass newclass
set newclass destinationclass
set previousfloor newfloor
set newfloor destinationfloor
```

L'últim comandament que es dona és que la variable "location" de totes les "turtles" sigui "classroom".

```
ask turtles
  [ set location "classroom"
  ]
end
```

Si tornem a l'algoritme central, ara que cada "turtle" ja sap com obtenir la informació del seu horari per saber a quina classe s'ha de dirigir i com ubicar-se dins de la seva aula, cal elaborar un procediment que permeti a les "turtles" arribar des de casa a la seva classe.

```
repeat hour
  [class
  tick
  ]
```

En aquest model, aquest i tots els altres procediments que fan possible la mobilitat de les "turtles" per l'institut, ja sigui per anar al pati, tornar a classe o canviar d'aula, funcionen bàsicament a partir de la variable "location", ja que cada cop que una "turtle" es troba en un punt determinat de l'institut, té una "location" determinada. Si vols que les "turtles" es moguin d'un punt concret a un altre punt concret, per exemple, de les escales de la planta baixa a les escales de la primera planta, el tros de codi que s'hauria d'escriure seria el següent:

```
ask turtles
[
  if location = "firstfloor" and newfloor = "plantasegona"
    [ facexy 0 184
      if pcolor = pink
        [ set location "firstfloorstairs"
        ]
    ]

  if location = "mainfloorstairs"
    [ set xcor 21
      set ycor 184
      if pcolor = violet
        [ set location "firstfloor"
        ]
    ]
]
```

Amb aquest conjunt de condicions podem fer que les “turtles” que estiguin a les escales de la planta baixa, canviïn de posició i es col·loquin en el punt (21,184), on suposadament els “patches” són de color violeta. Si aquesta condició es compleix, la “location” passa a ser una altra, en aquest cas “primeraplanta”. Aleshores, si la “location” és aquesta, però la planta de la classe a la qual les “turtles” es dirigeixen és la segona, aniran fins al punt (0,184), i si el color dels “patches” és rosa, la “location” passa a ser “escalesprimeraplanta”.

Per fer que a cada “tick” avancin una unitat, escrivim això:

```
ask turtles
  [fd 1
  ]
```

I per fer que les “turtles” no travessin els murs de color marró, escrivim que si es troben amb un “patch” d’aquest color, facin un pas endarrere, que s’orientin en una altra direcció aleatòria, i que avancin un pas endavant.

```
ask turtles
  [ while
    [ pcolor = brown
    ]
    [ fd -1
      rt random 360
      fd 1
    ]
  ]
```

D'aquesta manera, amb una sèrie de condicions es pot moure qualsevol individu per qualsevol part de l'institut.

Un cop els individus arriben al seu passadís, cada grup se'n va cap a les coordenades de la porta de la seva classe, que són totes de color blau, i aleshores la "location", que abans era de "corridor", passa a ser de "classroom". Si la "y" de la porta és més gran que la "y" del "desk", llavors les "turtles" s'enfoquen cap a baix. En canvi, si és al revés, les "turtles" s'enfoquen cap amunt. Un cop ja estan a dins de la seva classe, cada individu es dirigeix a la seva posició dins la quadrícula.

```
ask turtles
  [ if location = "classroom"
    [ facexy deskx desky
    ]
  ]

  if location = "corridor"
    [ facexy doorx doory
      if pcolor = blue and xcor > doorx - 1 and xcor < doorx
+ 1 and ycor > doory - 1 and ycor < doory + 1
      [ set location "classroom"
        if doory > desky
          [set heading 180
            fd 1
          ]
        if doory < desky
          [set heading 360
            fd 1
          ]
      ]
    ]
  ]
```

Els diferents procediments en què aquest mètode s'utilitza per transportar els agents d'un lloc a un altre són tres.

El procediment "class" es fa servir per retornar tots els agents a les seves respectives classes, si és que vénen de qualsevol dels dos patis, del menjador o de casa. La seva durada és d'una hora, que és el mateix que 1.000 "ticks".

El procediment "playground" es fa servir per fer sortir tots els agents de les seves respectives classes i dirigir-los cap a algun dels dos patis, cap al menjador, o bé cap a casa al final del dia. També dura 1.000 "ticks".

El procediment "leaveclass" es fa servir per fer que els agents, l'horari dels quals els indica que han de canviar de classe, puguin realitzar correctament aquesta operació, la qual té una duració de 1.000 "ticks".

Si sumem tots els procediments que acabem d'esmentar que es duen a terme en un dia, el resultat és de 12, i aquesta és la raó per la qual un dia dura 12.000 "ticks".

Si retornem a l'algoritme central un altre cop, observem la presència d'un altre bucle dins del "foreach timetable". En aquest cas, l'interrogant indica: per cada element de cada dia de la setmana. Per tant, per cada hora de cada dia de la setmana, aquest bucle es repetirà.

```
foreach ?
    [ ifelse ? = break
        [ havebreakfast
            repeat hour
                [ playground
                    update-epidemia
                ]
            repeat hour
                [class
                    update-epidemia
                ]
        ]
    [ set studentsschedule ( item 1 ?)
        studentsubication
        set professorsschedule (item 0 ?)
        professorsubication
        repeat hour
            [leaveclass
                update-epidemia
            ]
    ]
]
```

Si l'hora d'un dia és igual a "break", aleshores s'executa el procediment "havebreakfast", segons el qual, si un nombre aleatori del 0 al 100 és més gran que 4, la variable "destination" adquireix el valor de "playground". En canvi, si aquesta condició no es compleix, aquesta variable adquireix el valor de "menjador". Per tant, aquest procediment fa que el 4% de tots els agents, a l'hora del pati es dirigeixin al menjador.

```
to havebreakfast
  ask turtles
    [ set destination "menjador"
      if random 100 > 4
        [ set destination "playground"
        ]
    ]
end
```

Aleshores, durant un període de 1.000 ticks, el procediment "playground" s'executa, fet que provoca que totes les "turtles surtin de les seves classes i vagin al pati del davant si la variable "level" és igual a "batx", al pati del darrere si la variable "level" és diferent de "batx", o al menjador si la variable "destination" és igual a "menjador".

Transcorregut aquest període, s'executa el procediment "class", que permet el retorn a les classes de tots els agents.

Si l'hora d'un dia és diferent de "break", els professors i els alumnes han de consultar les llistes amb el seu horari i ubicar-se a l'aula on la següent classe es durà a terme. Aleshores, el procediment "leaveclass" s'executa.

Com que el que volem és que si els agents es queden a la seva classe anterior, es moguin de manera controlada al voltant de la seva posició de la quadrícula, i que si no es queden a la mateixa aula, es dirigeixin cap a la seva nova localització, i que un cop allà, també es moguin de manera controlada al voltant de la seva taula, escrivim la condició següent:

```
ask turtles
  [
    ifelse newclass = previousclass or location = "atdesk"
      [ move-turtle ]
      [ fd 1
        while [ pcolor = brown]
          [ fd -1
            rt random 360
            fd 1
          ]
      ]
  ]
```

D'aquesta manera, les "turtles" la classe de les quals no varia, o aquelles la "location" de les quals és igual a "atdesk", realitzen el procediment "move-turtle". Aquesta "location" és adquirida per les "turtles" que arriben a una nova classe, procedents d'una anterior. En canvi, els agents que no compleixen cap d'aquestes dues condicions, és a dir, aquells que han de canviar de classe, avancen un pas endavant, i segons la planta en què es troben i a la que han d'anar, seguiran un conjunt d'instruccions diferents, totes englobades en el procediment "leaveclass", ja que els recorreguts que han de fer seran diferents. Tots aquests conjunts, però, acaben assignant la "location" "atdesk" als agents, amb la finalitat que quan arribin a la seva destinació puguin realitzar el següent procediment:

```
to move-turtle
  [ let direccio random 360
    right direccio
    fd .99
    if (distancexy deskx deskx) > 1.5 or pcolor = brown [ fd -.99 ]
  ]
end
```

Amb aquest procediment, les "turtles" s'enfoquen cap a una direcció aleatòria i avancen 0.99 "patches" cada "tick". Tot i això, si s'allunyen una distància superior a 1.5 respecte de la seva situació a la quadrícula, o si toquen un dels murs que delimita la classe de color marró, retrocedeixen 0.99.

Com que els murs fan 1 "patch" d'amplada, amb el valor de 0.99 s'evita la possibilitat que el puguin travessar.

El mecanisme que he utilitzat per fer que les “turtles” surtin de les seves respectives classes, també és interessant.

```
if location = "classroom"
  [
    set heading atan ( previousdoorx - xcor) ( previousdoory
- ycor)
    fd 1
    if pcolor = blue
      [ set location "corridor"
      ]
  ]
```

Es tracta de la utilització de la funció “atan” del NetLogo, que permet obtenir el valor de l’angle necessari per enfocar cada “turtle” de la classe en la direcció correcta per sortir. Per obtenir-lo només cal escriure el valor del catet contigu seguit del valor del catet oposat. Així doncs, aquest primer valor és el resultat de la resta de les “x” de les portes de cada classe, menys el valor de les “x” de la posició de cada agent. I el segon valor és el resultat de la resta de les “y” de les portes de cada classe, menys el valor de les “y” de la posició de cada agent.

Finalment, el primer bucle de l’algoritme central acaba amb el procediment “gohome”, que només estableix “casa” com a valor de la variable “destination”. Així, quan s’executa el “playground” posteriorment, totes les “turtles” surten de l’institut i es dirigeixen a casa seva (que en el model és la mateixa per a totes). I després de 1.000 “ticks”, el bucle inicia la següent repetició, és a dir, comença el següent dia.

```
to gohome
  ask turtles
    [ set destination "casa"
    ]
end
```

4.2.2 El comportament de l'epidèmia al «*Model 1*»

Fins ara m'he dedicat a explicar tots els procediments vinculats al comportament dels agents, però encara no he fet cap referència al comportament de l'epidèmia. Abans de comentar els processos d'infecció i de recuperació, però, és necessari definir les característiques de cada un dels quatre estats principals pels quals les "turtles" passen durant les simulacions. Per fer-ho establim un color diferent per cada estat, així com un nombre que representarà el temps que passa fins que un agent no abandona l'estat en què es troba. I les dues variables definides a l'inici "sick?" i "immune?", que poden adquirir el valor de "false" o el valor de "true", segons si en un estat estàs o no malalt, i si ets o no immune.

```
to get-infected
  set sick? false
  set immune? false
  set color pink
  set incubationperiod day + random
day
end

to get-infectious
  set sick? true
  set immune? false
  set color red
  set timesick day * 4
end

to get-healthy
  set sick? false
  set immune? false
  set color yellow

end

to become-immune
  set sick? false
  set immune? true
  set color gray
  set timeimmune day * 7
end
```


Si volem que a l'inici de la simulació, una "turtle" aleatòria entri a l'estat "get-infected", només cal escriure això al "setup-turtles":

```
ask n-of 1 turtles [get-infected]
```

Totes les altres començaran a l'estat "get-healthy", ja que a mesura que les hem anat creant, així ho hem establert.

Perquè a cada "tick", la duració de la immunitat, la de la malaltia i la del període d'incubació s'escurcin, al valor que hem establert per a cada una d'aquestes variables, se li resta una unitat.

```
ask turtles with [ color = pink ] [ set incubationperiod
incubationperiod - 1]
ask turtles with [ color = red ] [ set timesick timesick - 1 ]
ask turtles with [ color = gray] [ set timeimmune timeimmune - 1]
```

El procediment central que engloba tots els altres referits al comportament de l'epidèmia s'anomena "update-epidemia".

```
to update-epidemia
  become-infectious
  infect
  recover
  update-global-variables
  write-to-file
  tick
end
```

El procediment "become-infectious", permet a les "turtles" de color rosa (estat "get-infected") i amb un període d'incubació menor que 1, esdevenir infeccioses i entrar a l'estat "get-infectious".

```
to become-infectious
  ask turtles with [ color = pink and incubationperiod < 1]
    [ get-infectious]
end
```

Les condicions que ha de complir un agent per ser capaç de transmetre l'epidèmia són les següents: ha de ser de color vermell (estat "get-infectious"), i el seu "timesick" ha de ser un valor més petit que 36.000 (day*3), però més gran que 12.000 (day). Un cop es compleixen, s'estableix com a possible infectat l'agent més proper a la "turtle" infecciosa. Aleshores, si aquest possible infectat és de color groc (estat "get-healthy"), i un nombre aleatori del 0 al 100 és més petit que el valor de la "infectiousness", variable definida a la interfície i modificable amb una barra lliscant, llavors aquest individu entra a l'estat "get-infected".

```
to infect
  ask turtles with [ color = red and timesick < day*3 and timesick >
day ]

  [set possibleinfected min-one-of other turtles [ distance myself
]
  ask possibleinfected
    [if color = yellow and
      (random-float 100) < infectiousness
      [get-infected]] ]

end
```

Per tal que una "turtle" en l'estat "get-infectious" es recuperi esdevenint susceptible o immune, el seu "timesick" ha de ser igual a 0. Aleshores, si un nombre aleatori resulta ser més petit que la "chance-immune", variable definida a la interfície i modificable amb una barra lliscant, aquesta "turtle" entra a l'estat "become-immune". Si el nombre resulta ser més gran, la "turtle" entra a l'estat "get-healthy".

En el cas que l'agent esdevingui immune, quan la duració de la seva immunitat arribi a 0, també entrarà a l'estat "get-healthy".

```
to recover
  ask turtles with [color = red and timesick = 0]
  [ ifelse ((random-float 100) < chance-immune)
    [become-immune]
    [get-healthy]
  ]

  ask turtles with [color = gray and timeimmune = 0] [ get-
healthy]

end
```

El darrer procediment del model és el que ha de servir per guardar les dades de la simulació en un arxiu que s'obre al "setup" i es tanca quan decidim acabar la simulació. Per fer-ho, escrivim que cada 10 "ticks" a l'arxiu s'imprimeixi una llista anomenada "output-line" (no és necessari que s'imprimeixi a cada "tick"). Aquesta llista conté el nombre de les diferents "turtles" de cada estat.

```
to write-to-file
  if ticks mod 10 = 0
    [
      let susceptibles count turtles with [ color = yellow]
      let infected count turtles with [ color = pink]
      let infectious count turtles with [ color = red]
      let immune count turtles with [ color = gray]
      let output-line lput immune lput ";" lput infectious lput ";"
      lput infected lput ";" lput susceptibles []
      file-print (output-line )
    ]
end
```

4.3 Anàlisi de la propagació d'epidèmies amb el «*Model 1*»

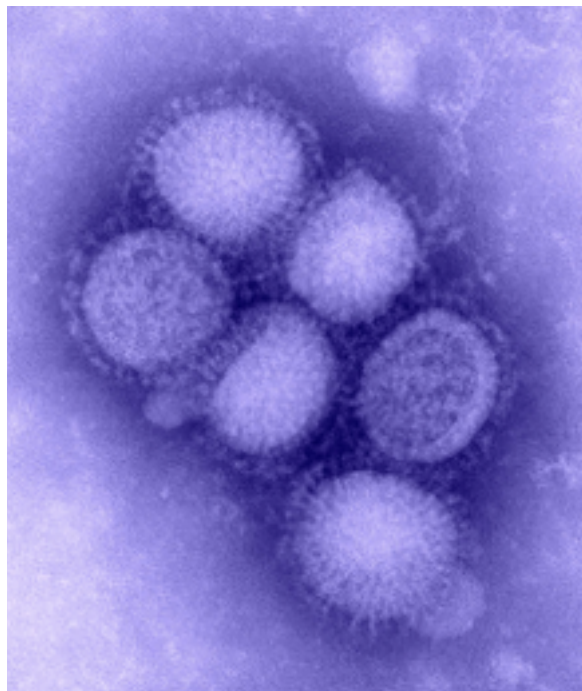
La primera part pràctica del treball ha consistit a construir un model que ens servirà com a base per realitzar una sèrie d'experiments que ens permetran simular la propagació de determinades epidèmies i comprovar quin efecte causen determinats factors que s'aniran introduint en el model, relacionats amb el comportament dels agents.

Abans de començar, però, s'han de fixar les propietats de les epidèmies que volem simular. Per fer-ho, m'he basat en una de les malalties infeccioses més conegudes, la grip.

4.3.1 La grip com a punt de partida

La grip és una infecció de les vies respiratòries causada pel virus Influenza i que s'encomana fàcilment d'una persona a una altra. A Catalunya arriba amb l'hivern, la majoria de les vegades a partir de la segona quinzena de desembre, i s'incrementa habitualment durant les primeres setmanes de gener.

La grip s'estén de forma considerable entre la població general, sobretot en infants, adolescents i adults joves en molt poques setmanes. En malalts de risc o d'edat avançada, pot produir una mortalitat remarcable per les complicacions associades a la malaltia, ja que contribueix a descompensar altres malalties de base. [23]



IMATGE 6: VIRUS INFLUENZA. [OBTINGUDA DE [HTTP://COMMONS.WIKIMEDIA.ORG/WIKI/CATEGORY:H1N1#MEDIAVIEWER/FILE:H1N1 INFLUENZA VIRUS.JPG](http://commons.wikimedia.org/wiki/category:h1n1#mediaviewer/file:h1n1_influenza_virus.jpg)]

Síntomes

La grip comença de forma brusca i els principals símptomes són: febre alta, dolor muscular, tos seca, mal de cap i de coll, malestar general, nas tapat i secreció nasal. També pot produir diarrees, nàusees i vòmits. La major part de la gent tarda entre 2 i 7 dies en recuperar-se d'aquests símptomes.^[24]

Transmissió

La grip es transmet amb facilitat d'una persona a una altra de tres maneres diferents. Per petites gotes que s'expulsen en tossir o esternudar, per contacte de la pell o oral amb persones malaltes de la grip, i per tocar o compartir estris i altres objectes sense netejar-los degudament.^[25]

Quan un individu infectat transmet el virus a un altre, aquest no serà infecció ni desenvoluparà els símptomes fins 2 dies després. És l'anomenat període d'incubació del virus, durant el qual, l'individu que ha estat contagiado no sap que el virus ja és a l'interior del seu organisme.

La infectivitat dels individus és més alta entre el segon i el tercer dia després de la infecció.^[26]

Tipus

Hi ha tres tipus de virus Influenza: l'A, el B i el C. Però només els virus de la grip A són classificats en més subtipus basats en les dues glicoproteïnes més importants de la seva superfície, l'hemaglutinina (HA) i la neuraminidasa (NA). Aquests subtipus juntament amb els virus del tipus B també es classifiquen per soques.

Els virus del grup A poden presentar moltes combinacions de diferents tipus de glicoproteïnes HA i NA, com per exemple els subtipus H1N1, o H3N2, que actualment es troben en circulació. Poden infectar els ocells i els humans. Els virus d'aquest tipus són els més agressius i s'han manifestat en les pandèmies més mortals de la història, com va ser la grip espanyola.

Els virus de tipus B només es troben en humans i són menys agressius que els anteriors.

Els virus de tipus C ataquen els humans i els porcs, però són poc freqüents i no arriben a causar epidèmies.^[27]

Variació antigènica

El virus pot canviar mitjançant dos processos.

La deriva antigènica produeix canvis menors en l'estructura de l'antigen deguts a mutacions puntuals en el gen. Es donen de forma progressiva a mesura que el virus passa per diferents hostes, i són els responsables de l'aparició de noves soques. Amb la seva aparició, la protecció

dels anticossos que un individu pot haver desenvolupat després d'una infecció amb una soca més antiga, no proporcionarà protecció per a la nova soca.

El segon procés és l'anomenat canvi antigènic, que produeix una modificació total de l'estructura de l'antigen a causa de la substitució del gen original per un altre provinent d'un subtipus diferent de virus. Aquest tipus de canvi es pot produir quan dos subtipus de virus diferents infecten la mateixa cèl·lula. Aleshores, els gens de cada virus es combinen per formar un nou subtipus de virus. Per exemple, els subtipus H3N2 i H5N1 poden formar el subtipus H5N2. Com que el sistema immunitari no reconeix el nou virus, aquest és extremadament perillós, ja que pot resultar en una nova pandèmia.^[27]

Com a conseqüència d'aquests canvis continus dels virus gripals, una nova vacuna és desenvolupada cada any contra les noves soques o els nous subtipus que han aparegut.

4.3.2 Simulacions del «*Model 1*»

La grip és una malaltia que es transmet amb molta facilitat, pot presentar moltes variants, algunes més agressives que d'altres, i a causa dels canvis que experimenta mitjançant mutacions, el període de duració de la immunitat es veu molt reduït.

Aquestes característiques la fan ideal per simular la seva propagació. A més a més, la seva gran variabilitat pot servir com a argument per canviar els diferents paràmetres i experimentar amb les possibilitats del model. Per exemple, podem suposar que una determinada soca ha mutat i s'ha fet molt més agressiva, amb una taxa d'infectivitat molt alta, amb un temps de recuperació més llarg, amb un període d'incubació més curt, i sense la capacitat de desenvolupar immunitat.

Per tant, el virus Influenza permet simular un gran ventall d'escenaris diferents.

Estructura de les simulacions

L'esquema de les diferents simulacions que he realitzat s'ha fet amb la intenció de cobrir tots els escenaris possibles i explotar al màxim el model, a més a més de permetre la confirmació de la primera hipòtesi. Per això les simulacions estan distribuïdes en dues dimensions.

En la primera, vaig variant les diferents característiques de l'epidèmia, centrant-me en tres punts importants: la immunitat, la infectivitat i la mortalitat.

I en la segona, canvio el comportament dels individus per intentar anar reduint els contactes entre els diferents grups. En aquest cas també em centro en tres punts: un institut sense hores de pati, sense canvis de planta, i sense canvis d'aules.

Estructura de les fitxes

Per cada una de les simulacions realitzades, he elaborat una fitxa que consta de cinc apartats diferents. El primer inclou les principals dades d'interès referents al context de la simulació, com són: el dia de la realització, la durada, els intents anteriors fallits, i el nombre total de "ticks". En el segon apartat s'explica quina és la finalitat de la simulació. Al tercer hi apareixen les característiques de l'epidèmia que estem simulant, com poden ser la infectivitat, la probabilitat de desenvolupar la immunitat o la mortalitat. En el següent apartat afegeixo el gràfic que ha anat recollint el nombre de "turtles" de cada estat al llarg de la simulació*. Concretament, la franja groga representa els individus malalts, la franja vermella, els individus en el període d'incubació, la blava, els susceptibles, i la verda, els immunes. I per acabar, faig un petit comentari sobre el gràfic.

4.3.2.1 Variacions de les característiques de l'epidèmia

Variacions de la immunitat

En aquestes primeres simulacions m'ha semblat interessant analitzar com influeix la durada del període d'immunitat, i la probabilitat que tenen els individus de desenvolupar-la en la propagació d'una epidèmia. Per això he volgut simular escenaris diferents.

En malalties que no varien l'estructura dels seus antígens, la immunitat pot durar tota la vida. En canvi, la grip és una malaltia que pateix variacions antigèniques molt sovint, i com a resultat es creen noves soques i nous subtipus del virus. Per això, si t'has infectat amb un virus de la grip, i has desenvolupat anticossos, el pròxim cop que et tornis a infectar, si el virus ha mutat, aquests anticossos no reconeixeran els antígens del nou virus i et tornaràs a infectar. Per aquesta raó el temps de durada de la immunitat és tan variable, així com la probabilitat de desenvolupar-la o no.

Simulació de l'efecte de la immunitat. 1r cas.

Dades d'interès

Dia de la realització: 30/7/14

Intents anteriors fallits: 1

Durada de la simulació: 1 hora i 37 minuts

Nombre total de ticks: 655.360

Finalitat de la simulació

* Tots els gràfics han estat elaborats amb un full de càlcul OpenOffice a partir de les dades exportades dels experiments realitzats amb el programa NetLogo.

Veure quina evolució segueix una epidèmia si tota la població és capaç de desenvolupar immunitat després d'una infecció i si el període d'immunitat és llarg.

Característiques de l'epidèmia

Infectivitat: 10%

Probabilitat de desenvolupar immunitat: 100%

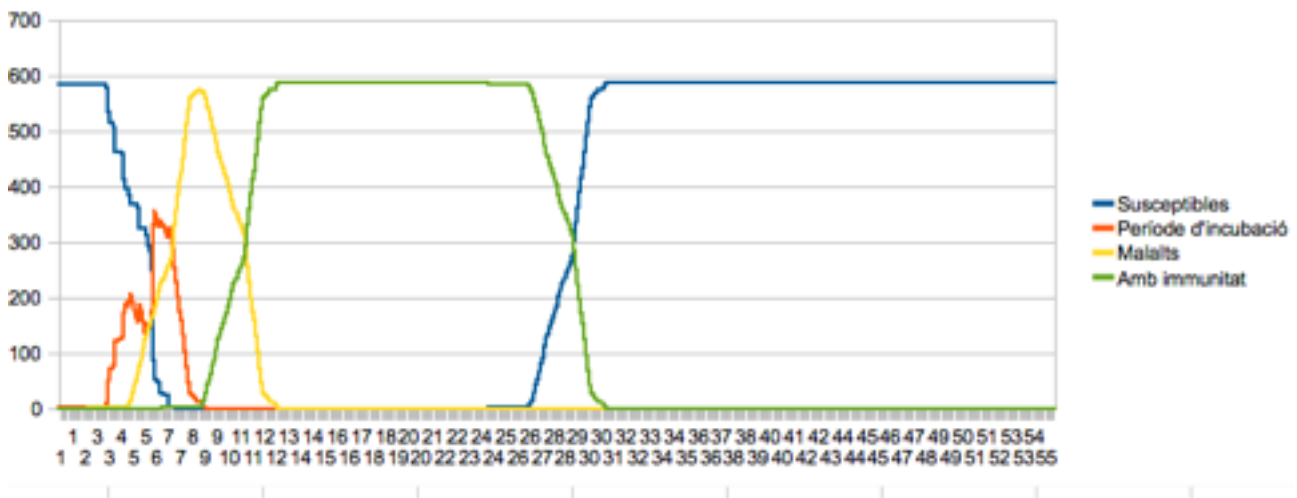
Durada de la immunitat: 18 dies

Durada de la malaltia (estat malalt): 4 dies

Dies amb possibilitat de transmetre el virus: 2 dies, el segon i el tercer de l'estat malalt.

Durada del període d'incubació (estat de latència del virus): Un valor aleatori entre 1 i 2 dies.

Gràfic de la simulació



Comentari del gràfic

S'observa que les infeccions comencen al tercer dia, com a conseqüència dels valors que hem fixat, ja que la simulació ha començat amb tots els individus en estat de susceptibles menys un que ja tenia el virus al seu organisme, però que estava en període d'incubació. Aquest període dura entre 1 i 2 dies, però quan l'individu comença a emmalaltir (passa a l'estat malalt), no és fins a l'inici del segon dia que esdevé infeccios. Així doncs, el nombre d'individus amb el virus en estat latent ha anat en augment, i això ha produït que al cap de poc temps també augmentés i molt ràpidament el nombre d'individus malalts. De fet, al vuitè dia s'ha produït el pic d'individus infecciosos, quan ho han arribat a ser 569 alhora. Posteriorment, els primers que ho han estat, han començat a recuperar-se i a esdevenir immunes al virus. Des del dia 12 fins al dia 26, tota la població ha estat immunitzada, i a mesura que els individus han anat sortint d'aquest estat, han passat a ser susceptibles. Aleshores s'ha arribat a una estabilitat, perquè no hi havien més individus infectats o infecciosos, i el virus ha desaparegut de la població.

Simulació de l'efecte de la immunitat. 2n cas.

Dades d'interès

Dia de la realització: 30/7/14

Intents anteriors fallits: 2

Durada de la simulació: 2 hores i 14 minuts

Nombre total de ticks: 423.910

Finalitat de la simulació

Veure quina evolució segueix una epidèmia si la probabilitat de desenvolupar immunitat és del 90% i si el període d'immunitat és curt.

Característiques de l'epidèmia

Infectivitat: 10%

Probabilitat de desenvolupar immunitat: 90%

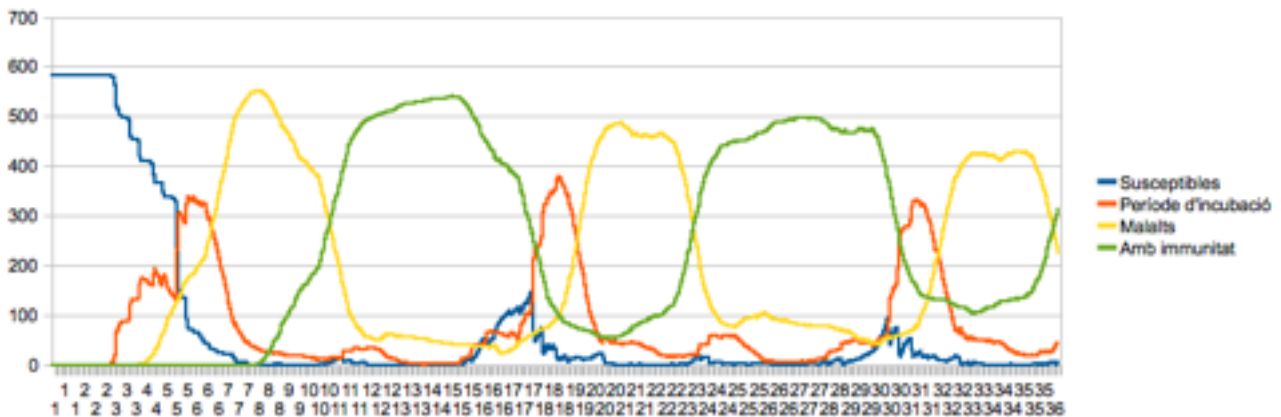
Durada de la immunitat: 7 dies

Durada de la malaltia (estat malalt): 4 dies

Dies amb possibilitat de transmetre el virus: 2 dies, el segon i el tercer de l'estat malalt.

Durada del període d'incubació (estat de latència del virus): Un valor aleatori entre 1 i 2 dies.

Gràfic de la simulació



Comentari del gràfic

Observant el gràfic de la segona simulació veiem que l'evolució de l'inici de la propagació és pràcticament idèntic al del primer cas. Els individus malalts augmenten fins a arribar a un màxim de 540, també al vuitè dia, quan comencen a disminuir per l'inici del període d'immunitat. Tot i això, s'observa que els susceptibles, que havien tocat fons, augmenten lleugerament, com a conseqüència d'una de les condicions inicials que hem fixat, ja que el 10% dels individus recuperats no desenvolupen la immunitat. El fet que apareguin nous susceptibles en un entorn on encara hi ha individus infecciosos, fa que la transmissió del virus no s'aturi i permet la seva supervivència durant el seu període més crític, quan la major part de la població està immunitzada. Aleshores els primers immunitzats van perdent la seva protecció davant la grip, i com a conseqüència apareixen nous susceptibles que, cada cop més ràpidament, van infectant-se. Aquest fet comporta que els malalts augmentin molt de pressa, però no són capaços d'assolir el pic anterior de 540 individus perquè a la vegada, les persones que pertanyien al 10% que no havia desenvolupat la immunitat, i que per tant s'havien tornat a infectar, ara sí que són capaces de desenvolupar-la. És per això que els individus amb immunitat sempre hi són presents.

Arribats a aquest punt, el cicle torna a començar, però com que no hi ha tants infecciosos com abans, el nombre d'individus amb immunitat tampoc s'enfila tant com en el cicle anterior. Aquest fet comportarà que cada cop els canvis entre estats es produeixin de manera més dispersa en el temps, i per tant al final, el nombre d'individus pertanyent a un estat pràcticament no variarà, tot i que els individus seguiran canviant constantment d'estat.

Aspectes destacables del 1r i del 2n cas.

En el primer cas, i tal com s'aprecia en el gràfic, s'arriba a una estabilitat en la qual els individus ja no canvien d'estat. En canvi, en el segon cas, tot indica que també s'arribarà a una certa estabilitat pel que fa als individus que ocupen un mateix estat, però aquests seguiran canviant constantment de grup. Només farà la impressió contrària perquè cada cop més, els canvis d'estat s'aniran dispersant en el temps i no es produiran tots alhora com a l'inici.

Una altra observació és que en el primer cas, el virus acaba desapareixent de la població, en canvi, en el segon cas el virus esdevé endèmic.

Aquesta última diferència em suggereix una pregunta. Quants dies ha de durar el període d'immunitat perquè el virus s'elimini, si tots els individus desenvolupen la immunitat? I poso aquesta condició perquè si no, seguirien apareixent individus susceptibles que s'infectarien, i el virus mai desapareixeria.

Per esbrinar-ho només cal observar el primer gràfic. Veiem que el primer individu recuperat i amb immunitat apareix al sisè dia, i que els individus malalts desapareixen al tretzè dia. Però com que la possibilitat de transmetre el virus acaba un dia abans del canvi d'estat, si un individu s'immunitza el dia 6 i aquest període durés 6 dies, el dia 12 passaria de l'estat immune a l'estat susceptible, i com a conseqüència podria tornar-se a infectar, a causa de la presència d'individus infecciosos.

Per tant, podem estar segurs que si la immunitat durés un mínim de 7 dies, el virus s'eliminaria de la població.

Simulació de l'efecte de la immunitat. 3r cas.

Dades d'interès

Dia de la realització: 30/7/14

Intents anteriors fallits: 1

Durada de la simulació: 35 minuts

Nombre total de ticks: 558.870

Finalitat de la simulació

Comprovar si el virus del 1r cas desapareixeria de la població si el període d'immunitat es reduís a només 7 dies.

Característiques de l'epidèmia

Infectivitat: 10%

Probabilitat de desenvolupar immunitat: 100%

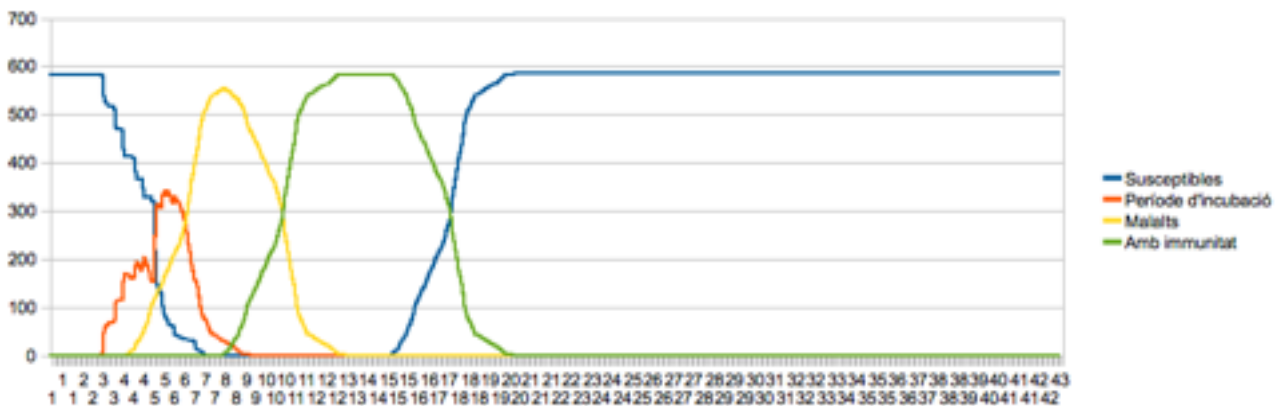
Durada de la immunitat: 7 dies

Durada de la malaltia (estat malalt): 4 dies

Dies amb possibilitat de transmetre el virus: 2 dies, el segon i el tercer de l'estat malalt.

Durada del període d'incubació (estat de latència del virus): Un valor aleatori entre 1 i 2 dies.

Gràfic de la simulació



Comentari del gràfic

El primer individu que desenvolupa immunitat ho fa al sisè dia, per tant esdevé susceptible el dia 13. L'últim dia que un individu malalt és capaç de transmetre el virus és el dia 12. Així doncs el virus desapareix de la població perquè el dia 12 encara no hi ha cap susceptible.

Variacions de la infectivitat

En aquestes simulacions, m'ha semblat interessant veure com varia l'evolució de la propagació d'una epidèmia segons la infectivitat d'aquesta.

Per fer-ho, m'he imaginat una situació en la qual fos molt difícil transmetre el virus. Per exemple, si tots els alumnes i els professors portessin una mascareta i una mica de gel per les mans, és possible que el tant per cent de contactes entre un individu infecciós i un de susceptible que resultessin en una transmissió es reduís. Per tant, en el primer escenari he fixat aquest tant per cent en un 2%. Aquesta xifra significa que només 2 de cada 100 contactes entre un individu susceptible i un infecciós resulten en una transmissió del virus.

En el segon escenari he augmentat fins a un 50% la infectivitat per comprovar quines variacions experimenta l'epidèmia respecte a el primer cas. I en l'últim escenari he augmentat aquest tant per cent al màxim per veure què passaria si cada contacte resultés en una transmissió del virus.

En aquests escenaris he eliminat la capacitat dels individus de desenvolupar la immunitat contra el virus, de tal manera que un cop els individus es recuperen, tornen a ser susceptibles directament.

Simulació de l'efecte de la infectivitat. 1r cas.

Dades d'interès

Dia de la realització: 31/7/14

Intents anteriors fallits: 2

Durada de la simulació: 56 minuts

Nombre total de ticks: 418.354

Finalitat de la simulació

Veure quina evolució seguiria una epidèmia amb una infectivitat molt baixa.

Característiques de l'epidèmia

Infectivitat: 2%

Probabilitat de desenvolupar immunitat: 0%

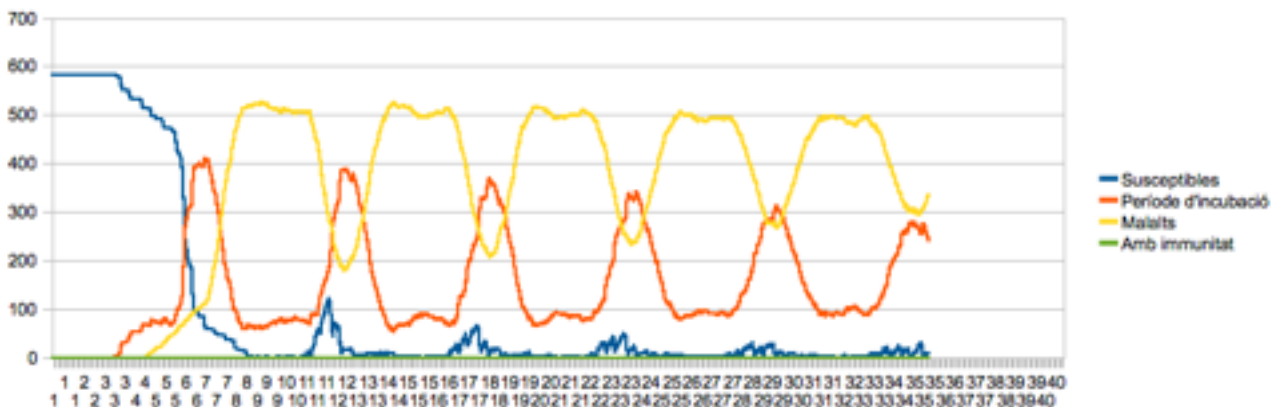
Durada de la immunitat: -

Durada de la malaltia (estat malalt): 4 dies

Dies amb possibilitat de transmetre el virus: 2 dies, el segon i el tercer de l'estat malalt.

Durada del període d'incubació (estat de latència del virus): Un valor aleatori entre 1 i 2 dies.

Gràfic de la simulació



Comentari del gràfic

Observant-lo veiem que el primer individu malalt comença a infectar al tercer dia i produeix l'augment d'individus en període d'incubació. Quan aquests van passant d'estat latent a estat infecciosos, com que només infecten a partir del segon dia, s'aprecia un augment de la franja groga que no repercuteix en la franja vermella fins després d'un dia, quan els individus en període d'incubació augmenten molt ràpidament en molt poc temps. Com a conseqüència, la seva disminució també és molt pronunciada, i quan comença, repercuteix en la franja groga, que s'enfila molt ràpidament. Els que surten de l'estat de latència entren a l'estat malalt a la mateixa velocitat. Aquesta reducció dels individus en estat de latència també és una conseqüència de l'acabament del període d'infectivitat dels primers malalts. Aquest fet també repercuteix en la velocitat de decreixement dels susceptibles, que s'alenteix. Quan s'arriba al vuitè dia, els primers

que havien començat a manifestar símptomes el dia 4, comencen a recuperar-se i a passar a l'estat de susceptibles. Però com que encara queden molts infecciosos, els individus acabats de recuperar de seguida s'infecten i passen al període d'incubació. La franja vermella es manté estable perquè a la vegada, la mateixa quantitat d'individus que s'havien infectat amb anterioritat, surten d'aquest estat i passen a l'estat malalt. Com que el setè dia molts individus havien passat a aquest mateix estat molt ràpidament, l'onzè dia, quatre dies després (període de duració de la malaltia), també es produeix un decreixement molt pronunciat, que produeix de seguida l'augment dels individus susceptibles. Aquest fet, donada la presència d'individus infecciosos, fa que s'infectin ràpidament, per tant, la franja vermella torna a créixer, iniciant-se un altre cicle. Aquest cop, la menor concentració d'individus susceptibles a la vegada, fa que els individus en el període d'incubació tampoc es puguin concentrar tant en un mateix dia. Com a conseqüència els individus cada cop canviaran d'estat de manera més dispersa, és a dir, no ho faran tots alhora com al principi, i per tant, si veiéssim el final d'un gràfic, les línies serien pràcticament paral·leles.

Simulació de l'efecte de la infectivitat. 2n cas.

Dades d'interès

Dia de la realització: 31/7/14

Intents anteriors fallits: 0

Durada de la simulació: 48 minuts

Nombre total de ticks: 394.567

Finalitat de la simulació

Veure quina evolució seguiria una epidèmia amb una infectivitat molt alta (un de cada dos contactes entre un individu susceptible i un infecció provoquen una transmissió del virus).

Característiques de l'epidèmia

Infectivitat: 50%

Probabilitat de desenvolupar immunitat: 0%

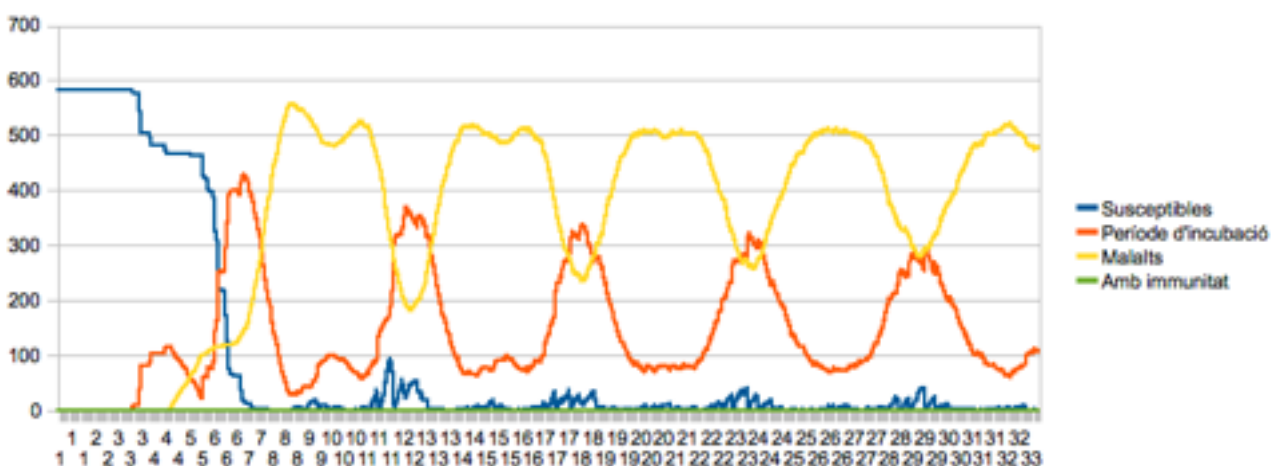
Durada de la immunitat: -

Durada de la malaltia (estat malalt): 4 dies

Dies amb possibilitat de transmetre el virus: 2 dies, el segon i el tercer de l'estat malalt.

Durada del període d'incubació (estat de latència del virus): Un valor aleatori entre 1 i 2 dies.

Gràfic de la simulació



Comentari del gràfic

Començant pel principi ja veiem la primera diferència respecte a el primer cas, i és que el primer individu infecció que apareix al tercer dia, infecta molt més ràpidament les persones susceptibles. Ho observem en veure com la franja vermella augmenta gairebé de manera perpendicular al gràfic. Quan el període d'infectivitat del primer individu s'acaba, el nombre de susceptibles es manté estable. Mentrestant, com que molts individus havien entrat al període d'incubació de cop, també en surten molt seguidament, produint que la franja vermella decreixi i que el nombre de malalts comenci a augmentar. Quan aquests arriben al seu període d'infectivitat, els susceptibles comencen a caure en picat i van entrant a l'estat de latència molt ràpidament. Quan el període d'incubació s'acaba i la infectivitat també ho fa, la franja vermella comença a decreixer i la blava frena una mica la seva caiguda lliure, però no tant com en l'anterior gràfic, ja que la infectivitat més gran no ho permet. El nombre d'individus en el període d'incubació al vuitè dia es redueix més que en l'escenari anterior perquè si ens fixem, entre el cinquè i el sisè dia molts individus havien entrat de cop en aquest estat, per tant, també en surten de cop. Aquest fet repercuteix directament en una concentració més alta que en la simulació anterior d'individus infecciosos. Al vuitè dia, com en l'anterior gràfic, els malalts comencen a recuperar-se, però a mesura que ho van fent, s'infecten molt ràpidament i de seguida passen a l'estat de latència, que torna a augmentar. A causa de la infectivitat més gran, el canvi d'estat susceptible a estat de període d'incubació és més brusc que abans. Per això la línia vermella durant aquest espai de temps no es manté estable. Com que els individus entren a aquest estat molt seguidament, també en surten molt seguidament, i els malalts tornen a augmentar, fins que el gruix d'individus que havia entrat a aquest estat es comença a recuperar, i a partir del desè dia s'inicia el decreixement ja més pronunciat d'aquest grup. Aquest fet repercuteix directament en un augment del nombre de susceptibles, que una altra vegada passen de seguida a l'estat de latència, a causa de la presència d'individus infecciosos. I tal com abans, el cicle torna a iniciar-se.

Simulació de l'efecte de la infectivitat. 3r cas.

Dades d'interès

Dia de la realització: 31/7/14

Intents anteriors fallits: 3

Durada de la simulació: 38 minuts

Nombre total de ticks: 323.783

Finalitat de la simulació

Veure quina evolució seguiria una epidèmia amb la màxima infectivitat possible.

Característiques de l'epidèmia

Infectivitat: 100%

Probabilitat de desenvolupar immunitat: 0%

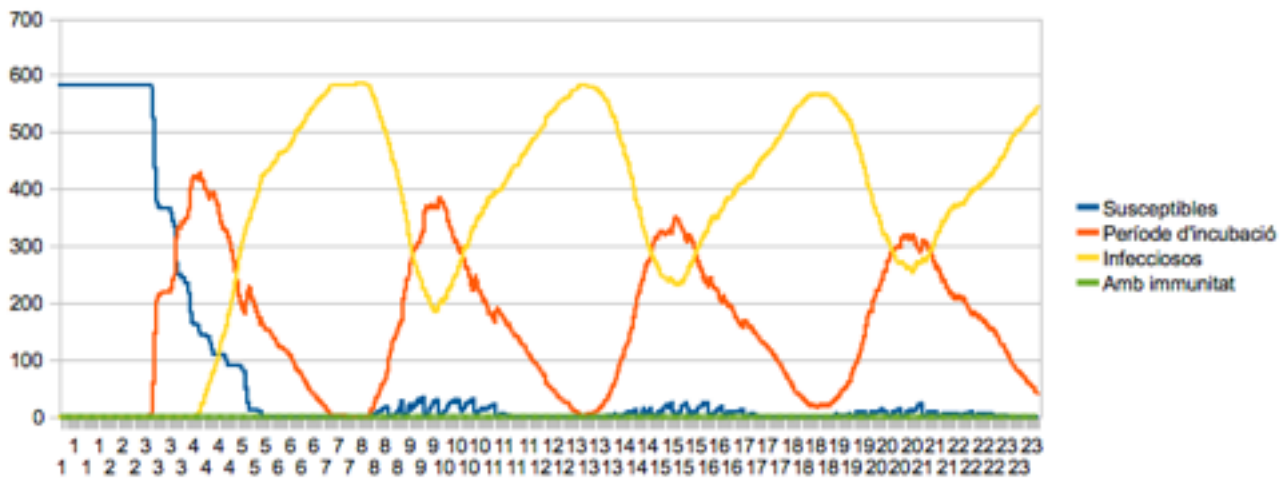
Durada de la immunitat: -

Durada de la malaltia (estat malalt): 4 dies

Dies amb possibilitat de transmetre el virus: 2 dies, el segon i el tercer de l'estat malalt.

Durada del període d'incubació (estat de latència del virus): Un valor aleatori entre 1 i 2 dies.

Gràfic de la simulació



Comentari del gràfic

Observem que un sol individu infecciós ja és capaç d'infectar en un sol dia a més de 200 persones susceptibles. I com que tants individus entren de cop en un estat, també en surten molt seguidament, tot i que ho fan d'una manera més gradual, ja que la duració del període d'incubació és un nombre aleatori entre dos valors. Si ens hi fixem, quan la franja vermella està decreixent, hi ha un punt en què sembla que es recupera, a causa de l'inici del període d'infectivitat dels malalts, però de seguida torna a caure per la manca d'individus susceptibles. Tots els que surten de l'estat de latència entren a l'estat malalt, i a partir del vuitè dia, es comencen a recuperar, i per tant apareixen nous susceptibles. Aquests passen ràpidament al període d'incubació. Tot i això la concentració d'individus en aquest estat va disminuint perquè els canvis d'estat ja no ocorren tots alhora.

Aspectes destacables del 1r el 2n i el 3r cas.

Després d'analitzar els tres gràfics, em sembla important destacar dos aspectes.

El primer és que independentment de la major o menor infectivitat, el virus evoluciona de manera molt similar, i no s'elimina de la població perquè esdevé endèmic.

El segon aspecte important és que la principal diferència entre els tres escenaris es veu més clarament en l'inici de la propagació de l'epidèmia, ja que en el primer cas els susceptibles canvien d'estat de manera més gradual. En canvi, en el segon cas, l'augment d'individus infectats, és a dir, en període d'incubació, es produeix molt més bruscament, i aquest fet provoca que aquests individus també canviïn a l'estat malalt menys gradualment. En el tercer cas, com que cada contacte resulta en una transmissió del virus, en un sol dia ja s'infecten més de 400 individus. Per tant, una major infectivitat produeix canvis més ràpids d'estats.

Variacions de la mortalitat

En aquest últim punt pel que fa a les característiques de l'epidèmia, m'ha semblat interessant simular dos escenaris incorporant un element nou com és la mortalitat per veure de quina forma influeix en l'evolució de la propagació de l'epidèmia.

En malalts de risc, la grip pot produir una mortalitat remarcable per les complicacions associades a la malaltia, ja que contribueix a descompensar altres malalties de base.

En el primer cas he simulat un virus gripal que mata un 5% dels individus que el pateixen.

En el segon cas he simulat que el mateix virus, en lloc de matar un 5% dels individus malalts, mata un 25% d'aquests. Per tant, és d'esperar que la població vagi disminuint més ràpidament que en l'escenari anterior.

Simulació de l'efecte de la mortalitat. 1r cas.

Dades d'interès

Dia de la realització: 1/8/14

Intents anteriors fallits: 0

Durada de la simulació: 43 minuts

Nombre total de ticks: 401.770

Finalitat de la simulació

Veure quina evolució segueix una epidèmia amb una mortalitat del 5%.

Característiques de l'epidèmia

Infectivitat: 10%

Probabilitat de recuperar-se: 95%

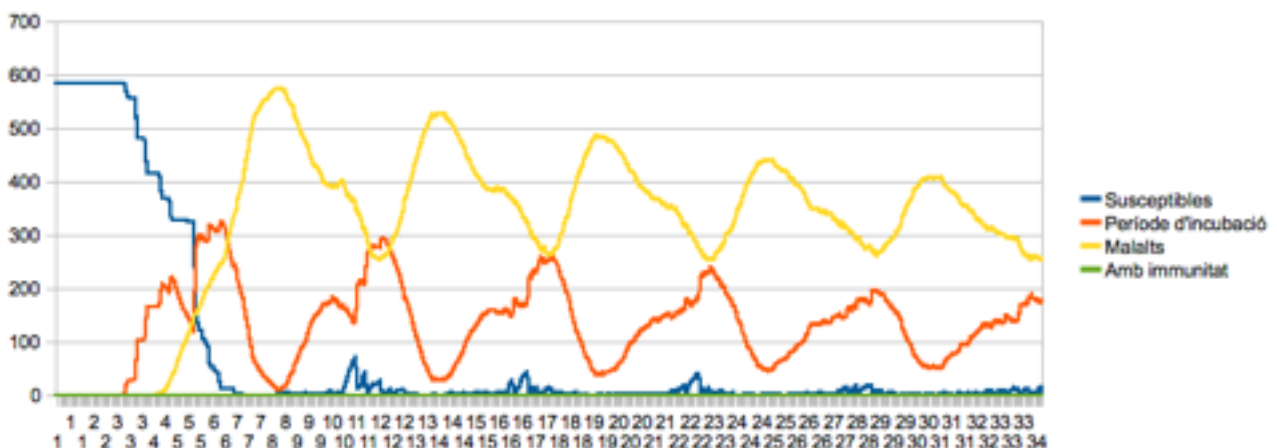
Durada de la immunitat: -

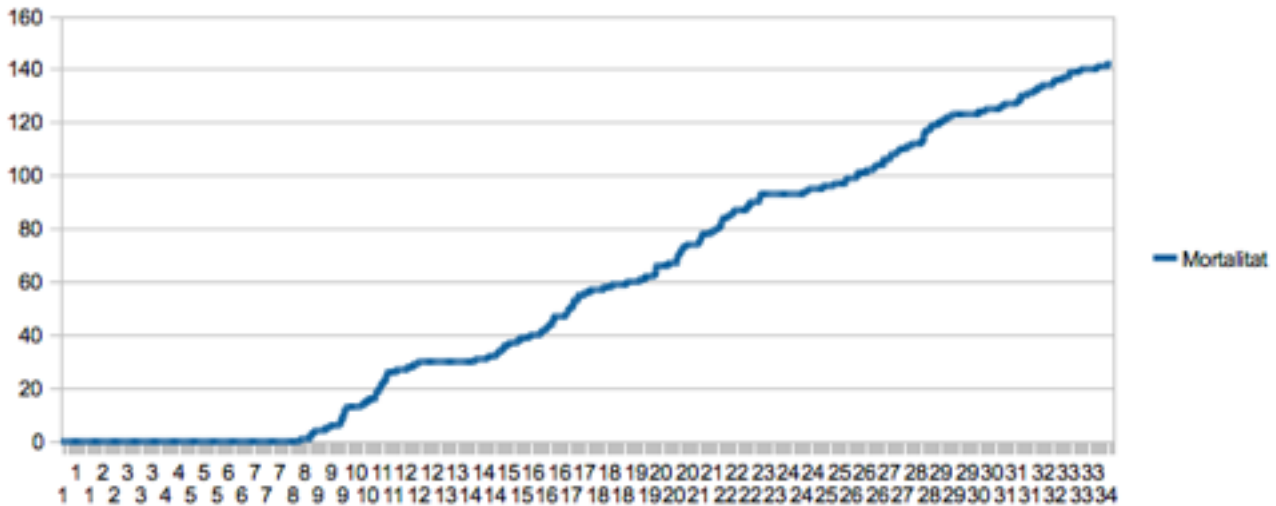
Durada de la malaltia (estat malalt): 4 dies

Dies amb possibilitat de transmetre el virus: 2 dies, el segon i el tercer de l'estat malalt.

Durada del període d'incubació (estat de latència del virus): Un valor aleatori entre 1 i 2 dies.

Gràfics de la simulació





Comentari dels gràfics

En aquest gràfic corresponent al primer cas amb un 5% de mortalitat, veiem com a l'inici els individus s'infecten amb molta rapidesa. Quan s'acaba el període d'infectivitat del primer individu, la franja vermella frena, i quan es comença a acabar el període d'incubació decreix durant molt poc temps, perquè de seguida els malalts tornen a iniciar la propagació del virus quan arriben al període d'infectivitat. Quan ja no hi ha més susceptibles, ja no poden passar més individus a l'estat de latència. La franja vermella comença a disminuir fins que pràcticament aquest estat es buida d'individus, que canvien a l'estat malalt. Aleshores a partir del 4 dia des de l'inici de l'aparició de la franja groga, el 95% dels individus es recuperen i passen a l'estat de susceptibles, el 5% restant mor i desapareix de la població. Els primers susceptibles que tornen a aparèixer, de seguida passen a l'estat de latència del virus, que a la vegada passen a l'estat malalt produint que la franja groga freni el seu decreixement. Però aleshores molts malalts es recuperen en poc temps i els susceptibles creixen considerablement perquè possiblement la major part dels malalts no estan en el seu període d'infectivitat. Quan aquesta situació canvia, els susceptibles passen a l'estat de latència que augmenta en nombre d'individus. Aquest fet fa que posteriorment tornin a augmentar els malalts i es repeteix el cicle. Quan aquests es recuperen, però, la població torna a disminuir. Per això cada cop les "y" del gràfic són més petites. El dia trenta, per exemple, la població d'individus ha passat a ser de 585 a l'inici, a 462. Per tant s'han mort 123 individus, el que suposa, si fem el càlcul $(123/585) * 100$, una reducció del 21% de la població en només trenta dies.

Simulació de l'efecte de la mortalitat. 2n cas.

Dades d'interès

Dia de la realització: 1/8/14

Intents anteriors fallits: 2

Durada de la simulació: 1 hora i 4 minuts

Nombre total de ticks: 466.940

Finalitat de la simulació

Veure quina evolució segueix una epidèmia amb una mortalitat del 25%.

Característiques de l'epidèmia

Infectivitat: 10%

Probabilitat de recuperar-se: 75%

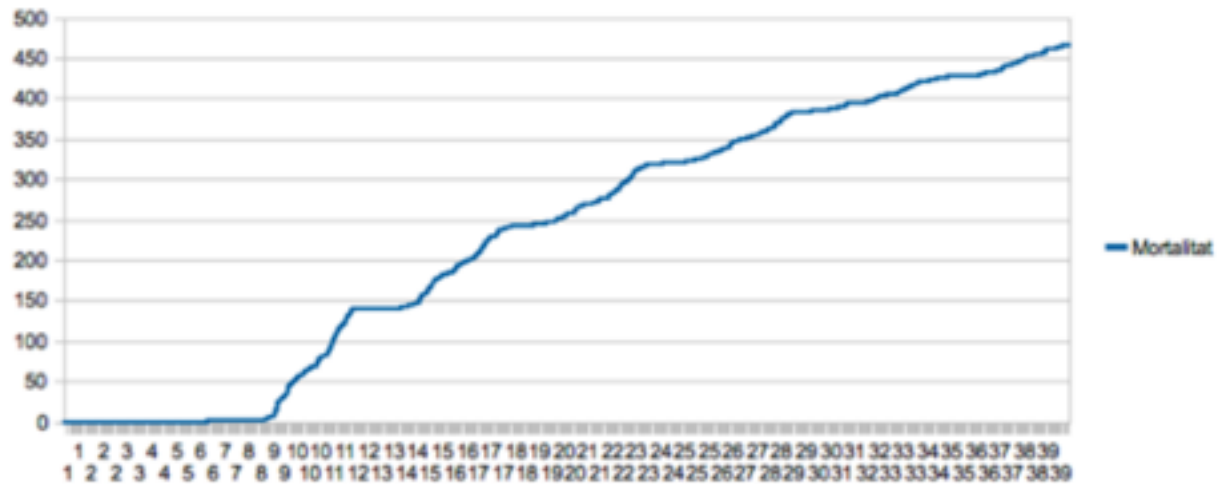
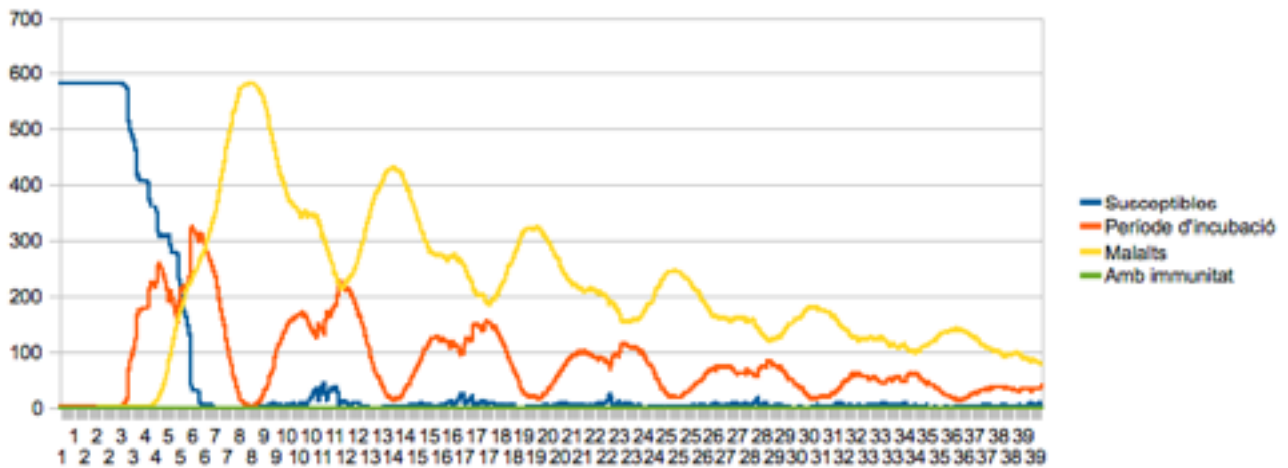
Durada de la immunitat: -

Durada de la malaltia (estat malalt): 4 dies

Dies amb possibilitat de transmetre el virus: 2 dies, el segon i el tercer de l'estat malalt.

Durada del període d'incubació (estat de latència del virus): Un valor aleatori entre 1 i 2 dies.

Gràfics de la simulació



Comentari dels gràfics

Observant el gràfic, veiem que l'inici és pràcticament idèntic que l'anterior perquè les característiques de l'epidèmia, tret de la mortalitat, no han variat. No és fins que els primers malalts es van recuperant, és a dir, quan la franja groga comença a disminuir, que no s'aprecien els primers efectes de la taxa de mortalitat situada al 25%. Respecte a el gràfic anterior, veiem que apareixen menys susceptibles i conseqüentment també es redueix el nombre d'individus que passen al període d'incubació. Quan tornen a ser infecciosos i es van recuperant, la població es torna a reduir. A cada cicle es perd un 25% de la població. Si a l'inici de la propagació la població era de 585 individus, el dia 30 només en queden 200. Per tant, en trenta dies han mort 385 persones. Això significa que, fent el càlcul $(385/585) * 100$, un 65,8% d'individus de la població inicial han mort.

Aspectes destacables del 1r i del 2n cas

Després d'analitzar els gràfics, no sembla que la velocitat de la propagació disminueixi encara que la densitat de la població sí que ho faci.

L'única diferència destacable és la que correspon a l'evolució de la mortalitat al llarg del temps, és a dir, a la pèrdua de població, que s'aprecia molt més en el segon cas que no pas en el primer. Per això els gràfics es van empentint cada cop més.

4.3.2.2 Variacions del comportament dels agents

L'institut sense hores de pati

Fins ara només he anat modificant les característiques de l'epidèmia. En aquest punt, però, començo a modificar també el comportament dels individus. Primer he pensat que eliminar les hores de pati limitaria força els contactes entre els diferents grups, ja que només es podrien trobar durant els canvis de classe. Així doncs, he escollit algunes de les anteriors simulacions, i he suprimit les hores d'esbarjo, per poder comparar si realment s'aprecia alguna diferència en l'evolució del comportament de les epidèmies. Per això, no he alterat cap característica dels virus que ja he definit anteriorment.

Simulació del 1r cas de l'efecte de la immunitat sense hores de pati.

Dades d'interès

Dia de la realització: 2/8/14

Intents anteriors fallits: 0

Durada de la simulació: 43 minuts

Nombre total de ticks: 729.338

Finalitat de la simulació

Veure si l'evolució que segueix l'epidèmia del 1r cas de la simulació de l'efecte de la immunitat varia si eliminem les hores de pati.

Característiques de l'epidèmia

Infectivitat: 10%

Probabilitat de desenvolupar immunitat: 100%

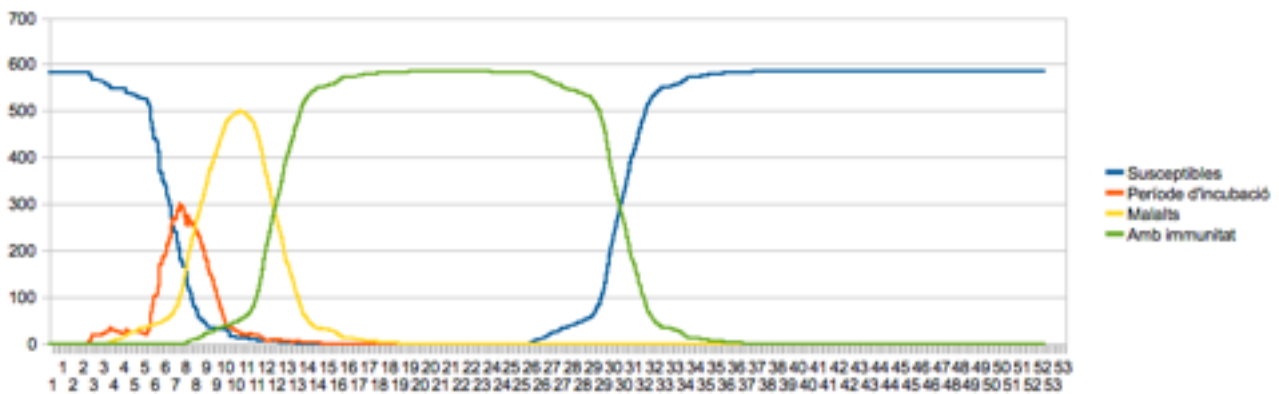
Durada de la immunitat: 18 dies

Durada de la malaltia (estat malalt): 4 dies

Dies amb possibilitat de transmetre el virus: 2 dies, el segon i el tercer de l'estat malalt.

Durada del període d'incubació (estat de latència del virus): Un valor aleatori entre 1 i 2 dies.

Gràfic de la simulació



Comentari del gràfic

Els individus susceptibles no s'infecten tan ràpidament, com es pot observar amb el decreixement menys pronunciat de la franja blava. Tot i això, al sisè dia, quan comença el període d'infectivitat dels individus malalts, els susceptibles comencen a entrar a l'estat d'incubació més ràpidament, però igualment continuen fent-ho més lentament que en el primer cas. Com a conseqüència, el canvi a estat malalt també es fa més progressivament i no tan de cop com abans. Per això l'últim malalt no es recupera fins al dia 17, en canvi, en l'anterior cas, ho feia el dia 13. Aquest fet ens indica que l'epidèmia està més temps present en la població si s'eliminen les hores de pati, perquè el virus continua propagant-se, però ho fa més lentament.

Simulació del 2n cas de l'efecte de la immunitat sense hores de pati.

Dades d'interès

Dia de la realització: 2/8/14

Intents anteriors fallits: 0

Durada de la simulació: 1 hora i 18 minuts

Nombre total de ticks: 613.531

Finalitat de la simulació

Veure si l'evolució que segueix l'epidèmia del 2n cas de la simulació de l'efecte de la immunitat varia si eliminem les hores de pati.

Característiques de l'epidèmia

Infectivitat: 10%

Probabilitat de desenvolupar immunitat: 90%

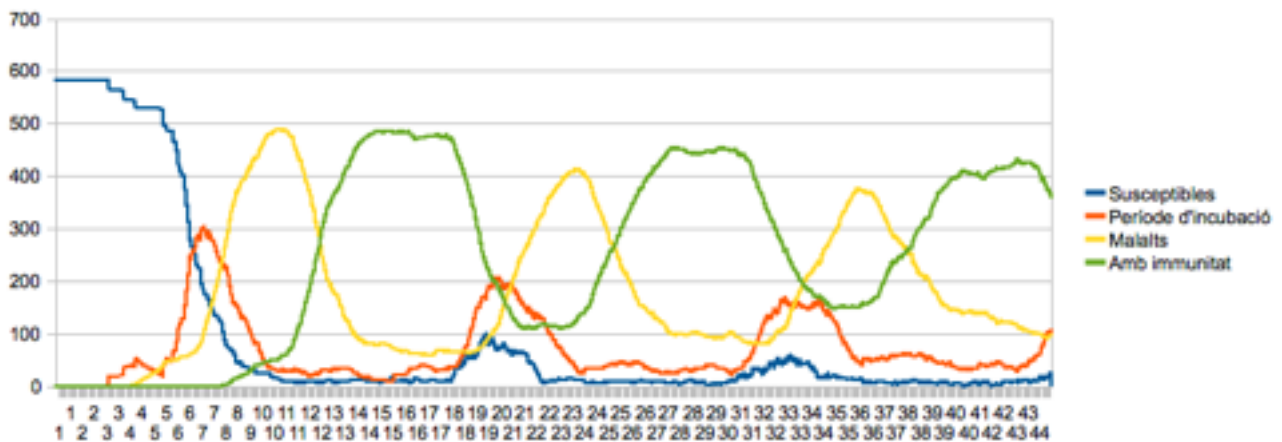
Durada de la immunitat: 7 dies

Durada de la malaltia (estat malalt): 4 dies

Dies amb possibilitat de transmetre el virus: 2 dies, el segon i el tercer de l'estat malalt.

Durada del període d'incubació (estat de latència del virus): Un valor aleatori entre 1 i 2 dies.

Gràfic de la simulació



Comentari del gràfic

El primer infectat no transmet el virus tan ràpidament com en l'escenari amb hores de pati. Tot i això, quan els individus que han estat infectats en primer lloc abandonen l'estat de latència i comencen el període d'infectivitat, aleshores sí que es produeix un decreixement ràpid dels susceptibles. En l'escenari amb pati, però, la franja blava arribava als seus valors mínims al setè dia. En aquest cas, en canvi, la franja blava no hi arriba fins al dia 11. A més a més, l'estat susceptible mai s'arriba a buidar del tot. El grau més gran de lentitud que manifesta l'epidèmia a l'hora de propagar-se, queda reflectit al gràfic, on s'observa que els màxims absoluts i els locals de cada estat són menors quan s'eliminen les hores de pati.

Simulació del 1r cas de l'efecte de la infectivitat sense hores de pati.

Dades d'interès

Dia de la realització: 2/8/14

Intents anteriors fallits: 0

Durada de la simulació: 3 hores i 17 minuts

Nombre total de ticks: 622.104

Finalitat de la simulació

Veure si l'evolució que segueix l'epidèmia del 1r cas de la simulació de l'efecte de la infectivitat varia si eliminem les hores de pati.

Característiques de l'epidèmia

Infectivitat: 2%

Probabilitat de desenvolupar immunitat: 0%

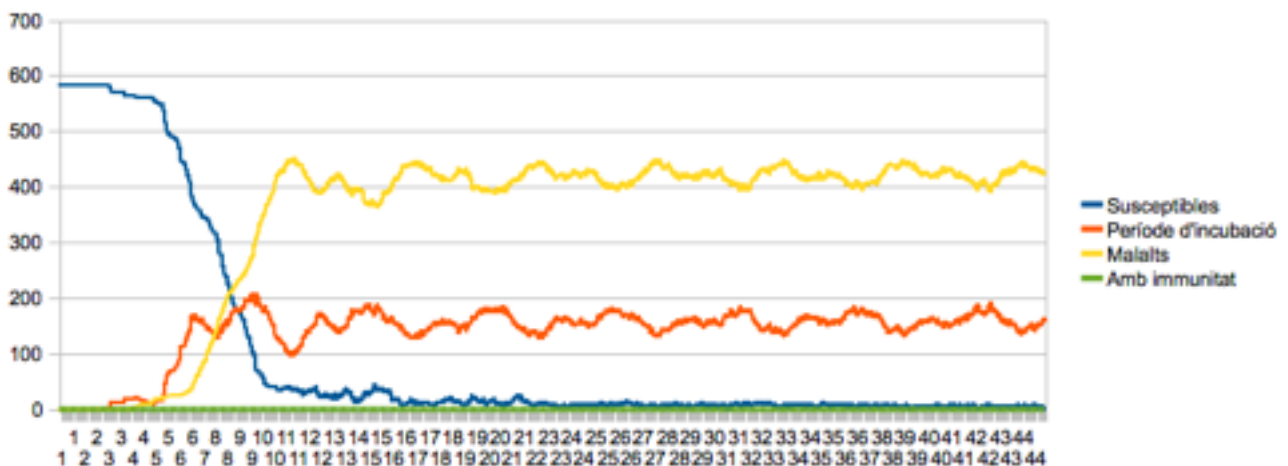
Durada de la immunitat: -

Durada de la malaltia (estat malalt): 4 dies

Dies amb possibilitat de transmetre el virus: 2 dies, el segon i el tercer de l'estat malalt.

Durada del període d'incubació (estat de latència del virus): Un valor aleatori entre 1 i 2 dies.

Gràfic de la simulació



Comentari del gràfic

Com en els altres escenaris sense hores de pati, al primer infectat li és difícil transmetre el virus, però quan n'apareixen més i entren al període d'infectivitat, la franja vermella augmenta més ràpidament. Tot i això, els canvis d'estat són més progressius, ja que no es produeixen en un curt espai de temps, com a conseqüència també de la baixa infectivitat. Això fa que quan es recuperen, no esdevinguin susceptibles tots alhora, i que per tant, no s'infectin tots de cop i puguin anar entrant a l'estat de latència més gradualment. Com a conseqüència, el gràfic no mostra grans variacions del nombre d'individus que ocupen un estat, i les concentracions s'estabilitzen.

Simulació del 2n cas de l'efecte de la infectivitat sense hores de pati.

Dades d'interès

Dia de la realització: 2/8/14

Intents anteriors fallits: 0

Durada de la simulació: 10 hores i 45 minuts

Nombre total de ticks: 482.968

Finalitat de la simulació

Veure si l'evolució que segueix l'epidèmia del 2n cas de la simulació de l'efecte de la infectivitat varia si eliminem les hores de pati.

Característiques de l'epidèmia

Infectivitat: 50%

Probabilitat de desenvolupar immunitat: 0%

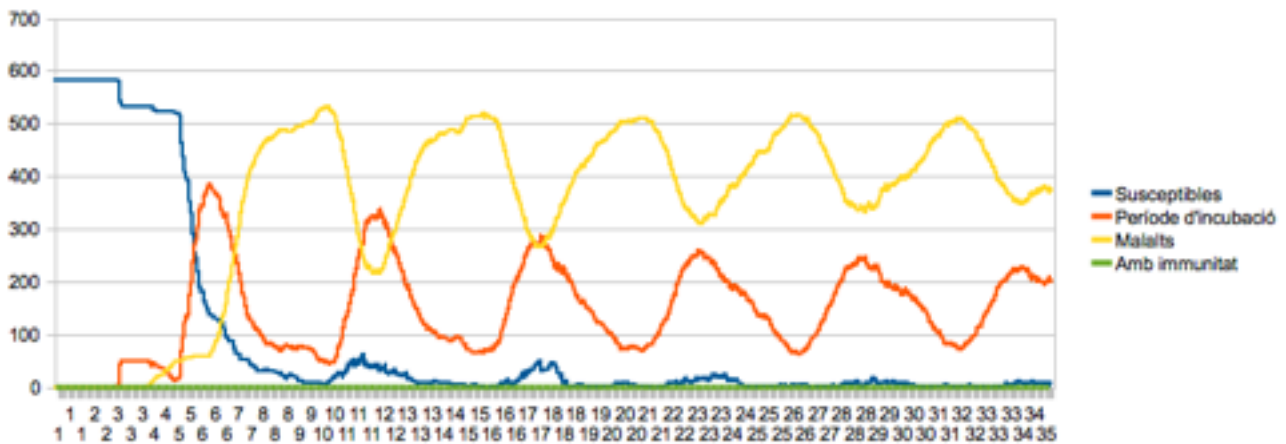
Durada de la immunitat: -

Durada de la malaltia (estat malalt): 4 dies

Dies amb possibilitat de transmetre el virus: 2 dies, el segon i el tercer de l'estat malalt.

Durada del període d'incubació (estat de latència del virus): Un valor aleatori entre 1 i 2 dies.

Gràfic de la simulació



Comentari del gràfic

El primer individu infecciós transmet el virus molt ràpidament a les persones amb qui pot arribar a contactar, que són menys, com a conseqüència de l'eliminació de les hores de pati. Per això la franja vermella frena de cop el seu creixement. Quan els individus en estat de latència passen a l'estat malalt i a continuació s'inicia el període d'infectivitat, independentment del comportament dels alumnes, els susceptibles s'infecten molt ràpidament. Tot i que al llarg del temps, els estats tendeixen a estabilitzar-se abans, aquest gràfic i el del cas amb el qual se'l compara presenten un grau de similitud major, que no pas el que s'aprecia en els 1rs casos de l'efecte de la infectivitat. Això pot voler dir que encara que es canviï el comportament dels alumnes per dificultar el contagi, si la infectivitat és alta, la propagació de l'epidèmia segueix el seu curs sense importants modificacions. Dit en altres paraules, el que realment condiciona l'evolució d'una epidèmia és el seu grau d'infectivitat.

Simulació del 1r cas de l'efecte de la mortalitat sense hores de pati.

Dades d'interès

Dia de la realització: 3/8/14

Intents anteriors fallits: 0

Durada de la simulació: 2 hores i 2 minuts

Nombre total de ticks: 415.443

Finalitat de la simulació

Veure si l'evolució que segueix l'epidèmia del 1r cas de la simulació de l'efecte de la mortalitat varia si eliminem les hores de pati.

Característiques de l'epidèmia

Infectivitat: 10%

Probabilitat de recuperar-se: 95%

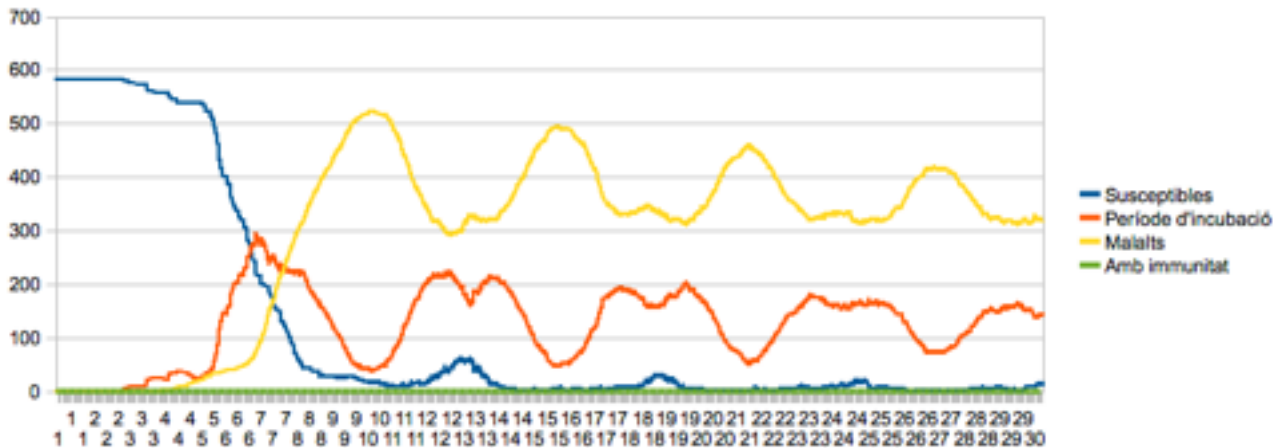
Durada de la immunitat: -

Durada de la malaltia (estat malalt): 4 dies

Dies amb possibilitat de transmetre el virus: 2 dies, el segon i el tercer de l'estat malalt.

Durada del període d'incubació (estat de latència del virus): Un valor aleatori entre 1 i 2 dies.

Gràfic de la simulació



Comentari del gràfic

Com en les darreres simulacions, són els infectats en la segona volta els qui permeten una propagació més ràpida. Els canvis d'estat, però, se segueixen realitzant més gradualment, fet que produeix una menor diferència entre els màxims i els mínims d'un mateix estat, i unes corbes amb un pendent menys pronunciat. Pel que fa a l'efecte que causa la mortalitat del 5%, no sembla que variï massa d'una simulació a l'altra, tot i l'eliminació de les hores de pati. De fet el dia 30, dels 585 individus inicials, comprovem que ja n'han mort 109, el que suposa, si fem el càlcul $(109/585) \cdot 100$, un 18,6% de la població inicial (recordem que en la simulació amb hores de pati la reducció el dia trenta era del 21%).

Simulació del 2n cas de l'efecte de la mortalitat sense hores de pati.

Dades d'interès

Dia de la realització: 3/8/14

Intents anteriors fallits: 0

Durada de la simulació: 1 hora i 12 minuts

Nombre total de ticks: 439.518

Finalitat de la simulació

Veure si l'evolució que segueix l'epidèmia del 2n cas de la simulació de l'efecte de la mortalitat varia si eliminem les hores de pati.

Característiques de l'epidèmia

Infectivitat: 10%

Probabilitat de recuperar-se: 75%

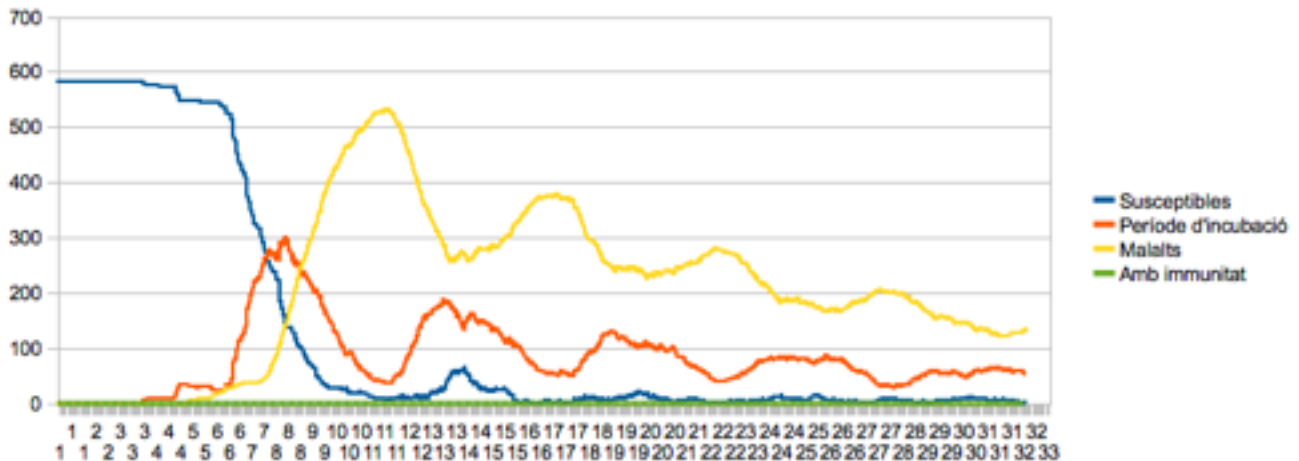
Durada de la immunitat: -

Durada de la malaltia (estat malalt): 4 dies

Dies amb possibilitat de transmetre el virus: 2 dies, el segon i el tercer de l'estat malalt.

Durada del període d'incubació (estat de latència del virus): Un valor aleatori entre 1 i 2 dies.

Gràfic de la simulació



Comentari del gràfic

L'inici és pràcticament idèntic al gràfic del cas de la mortalitat del 5%. No és fins que els individus comencen a sortir de l'estat malalt, passen a ser susceptibles, i tornen al període de latència, que no s'aprecia una disminució de la població, quan la franja vermella ja no puja tant com abans. A partir d'aquest moment, ja es veu que la tendència del gràfic és anar fent-se més petit.

Comparant-lo amb el 2n cas de l'efecte de la mortalitat amb hores de pati, podem veure que el dia 30 ja han mort 374 individus, el que suposa, si fem el càlcul $(374/585) \cdot 100$, un 63,9% de la població inicial, xifra molt semblant a la de l'escenari amb hores de pati, que era de 65,8%.

Aspectes destacables dels casos de l'institut sense hores de pati

Els aspectes més destacables del conjunt de simulacions sense hores de pati en relació amb els escenaris de les variacions de les característiques de l'epidèmia són els següents:

A l'inici el decreixement dels susceptibles és menys pronunciat, per tant no s'infecten tan ràpidament com abans.

La amplitud més gran de les corbes del gràfic ens indica que les concentracions d'individus dels diferents estats varien més lentament, és a dir, els canvis d'estat es produeixen de manera més gradual. Aquest fet és conseqüència de la dispersió més gran dels canvis d'estat en el temps, perquè no es produeixen tan bruscament com abans. Això fa que les concentracions s'estabilitzin

abans, comportant la disminució, ja des del principi, de les concentracions màximes. Així doncs, s'evidencia una major dificultat en la transmissió del virus.

En tots els casos, però, la propagació de l'epidèmia segueix el seu curs, independentment del comportament dels alumnes. I els efectes de la immunitat, la infectivitat i la mortalitat en el desenvolupament de la infecció no varien massa respecte a les anteriors simulacions. El fet que l'esquema general dels gràfics es mantingui, tot i les modificacions del comportament dels agents, pot ser un indicador de la transcendència més gran de les característiques de l'epidèmia sobre aquestes modificacions efectuades.

Un institut sense hores de pati ni canvis de planta

El següent pas pel que fa a la modificació del comportament dels individus pretén dificultar i impedir encara més els contactes entre classes perquè al virus li sigui més costós propagar-se. Per això he eliminat de l'horari dels alumnes totes aquelles hores en les quals les diferents classes han de desplaçar-se a una altra planta per anar al gimnàs, a l'aula de tecnologia, al laboratori, etc. Així doncs, he escollit les simulacions que ja havia triat abans per eliminar les hores d'esbarjo, i també els he eliminat els canvis de planta per poder comprovar si realment s'aprecia alguna diferència en l'evolució del comportament de les epidèmies.

Simulació del 1r cas de l'efecte de la immunitat sense hores de pati ni canvis de planta.

Dades d'interès

Dia de la realització: 3/8/14

Intents anteriors fallits: 0

Durada de la simulació: 58 minuts

Nombre total de ticks: 780.000

Finalitat de la simulació

Veure si l'evolució que segueix l'epidèmia del 1r cas de la simulació de l'efecte de la immunitat varia si eliminem les hores de pati i els canvis de planta.

Característiques de l'epidèmia

Infectivitat: 10%

Probabilitat de desenvolupar immunitat: 100%

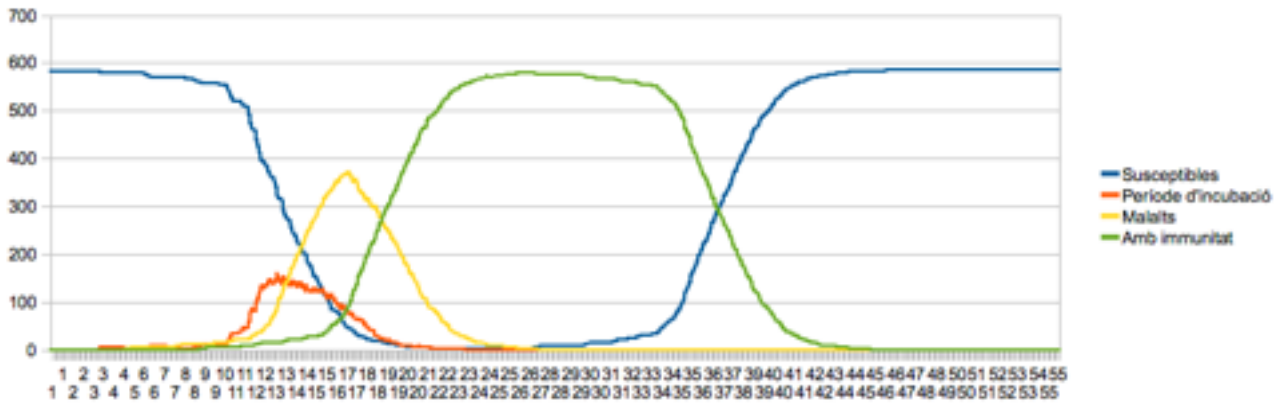
Durada de la immunitat: 18 dies

Durada de la malaltia (estat malalt): 4 dies

Dies amb possibilitat de transmetre el virus: 2 dies, el segon i el tercer de l'estat malalt.

Durada del període d'incubació (estat de latència del virus): Un valor aleatori entre 1 i 2 dies.

Gràfic de la simulació



Comentari del gràfic

En aquest cas s'observa com durant els primers 10 dies són molt pocs els individus que s'infecten amb el virus com a conseqüència de la reducció del nombre de situacions en què diferents classes es troben. De fet, segurament no és fins al desè dia que el virus arriba a un determinat professor, que el propaga pel seu departament, infectant altres docents que porten el virus cap a diferents classes. El dia 17, l'estat malalt arriba a tenir la seva concentració més alta amb més de 350 individus. Quan aquests es van recuperant, força gradualment, van adquirint la immunitat, i la franja verda augmenta. Els primers que perden la immunitat, ho fan el dia 26, quan ja no hi ha perill de tornar-se a infectar. A partir d'aquest moment, els susceptibles comencen a créixer fins que tota la població es recupera. Si ens fixem en el pendent de la franja blava i la comparem amb les simulacions que fan referència al mateix cas, observem que és molt menys pronunciat. Aquest fet ens indica que realment les infeccions s'han anat produint dins un espai de temps més gran.

Simulació del 2n cas de l'efecte de la immunitat sense hores de pati ni canvis de planta.

Dades d'interès

Dia de la realització: 3/8/14

Intents anteriors fallits: 0

Durada de la simulació: 1 hora i 11 minuts

Nombre total de ticks: 390.498

Finalitat de la simulació

Veure si l'evolució que segueix l'epidèmia del 2n cas de la simulació de l'efecte de la immunitat varia si eliminem les hores de pati i els canvis de planta.

Característiques de l'epidèmia

Infectivitat: 10%

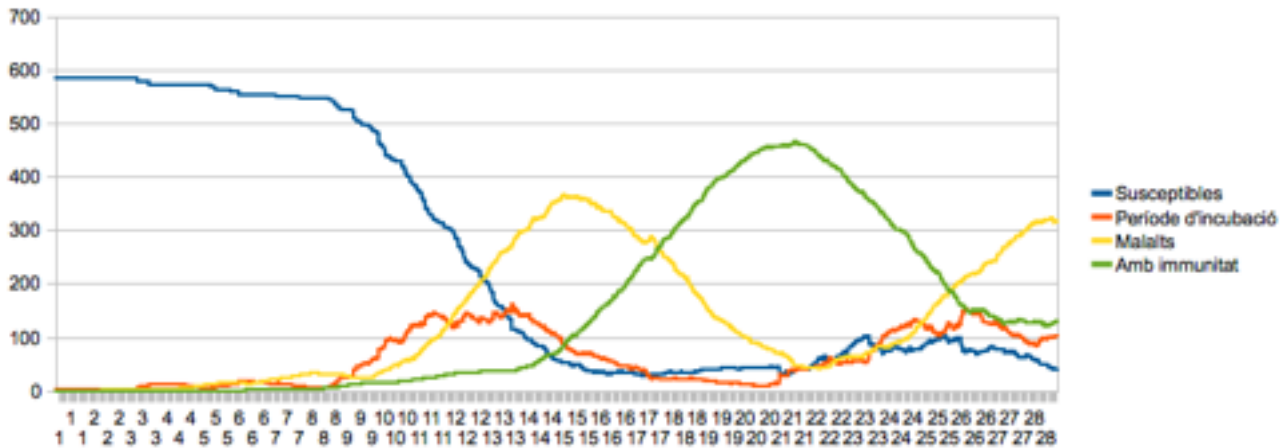
Probabilitat de desenvolupar immunitat: 90%

Durada de la immunitat: 7 dies

Durada de la malaltia (estat malalt): 4 dies

Dies amb possibilitat de transmetre el virus: 2 dies, el segon i el tercer de l'estat malalt.

Durada del període d'incubació (estat de latència del virus): Un valor aleatori entre 1 i 2 dies.

Gràfic de la simulacióComentari del gràfic

Tal com passa en l'anterior escenari, a l'inici l'epidèmia té dificultats per propagar-se, i quan aconsegueix entrar amb contacte amb més individus, el ritme d'infecció és lent comparat amb els casos dels escenaris amb hores de pati i canvis de planta, ja que la franja blava decreix força lentament. El menor pendent de les franges quan augmenten i disminueixen ens indica que els canvis d'estat es produeixen en períodes de temps més llargs, i no tots de cop. Aquesta, com ja hem esmentat prèviament, és una conseqüència de la dificultat més gran que té l'epidèmia a l'hora de transmetre's. Una altra diferència significativa respecte als casos amb canvis de planta és la presència de més susceptibles durant tota la simulació, ja que si considerem que la immunitat dura només 7 dies, que un 10% dels individus passen directament de l'estat malalt al susceptible, i li afegim que els canvis d'estat es produeixen més lentament perquè a l'epidèmia li és més costós propagar-se, se'ns fa evident aquesta situació.

Simulació del 1r cas de l'efecte de la infectivitat sense hores de pati ni canvis de planta.

Dades d'interès

Dia de la realització: 3/8/14

Intents anteriors fallits: 0

Durada de la simulació: 3 hores i 49 minuts

Nombre total de ticks: 394.000

Finalitat de la simulació

Veure si l'evolució que segueix l'epidèmia del 1r cas de la simulació de l'efecte de la infectivitat varia si eliminem les hores de pati i els canvis de planta.

Característiques de l'epidèmia

Infectivitat: 2%

Probabilitat de desenvolupar immunitat: 0%

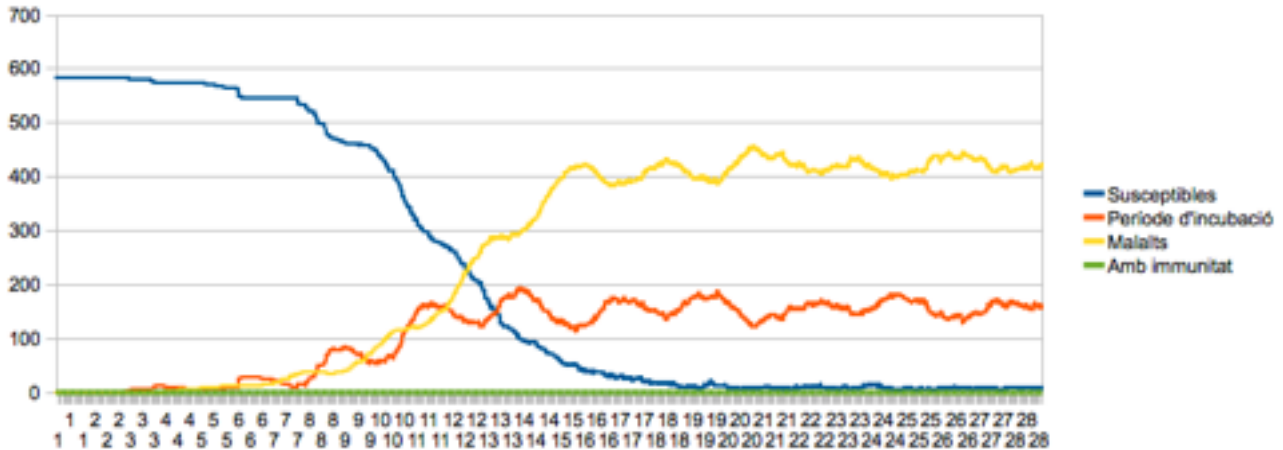
Durada de la immunitat: -

Durada de la malaltia (estat malalt): 4 dies

Dies amb possibilitat de transmetre el virus: 2 dies, el segon i el tercer de l'estat malalt.

Durada del període d'incubació (estat de latència del virus): Un valor aleatori entre 1 i 2 dies.

Gràfic de la simulació



Comentari del gràfic

La baixa infectivitat dels individus sumada a la disminució de les possibilitats que té el virus per transmetre's, fan que la concentració d'individus en període d'incubació primerament, i malalts posteriorment, vagi augmentant de forma més gradual que en els casos anteriors. Quan la franja vermella sembla que comença a estabilitzar-se com a conseqüència d'un equilibri entre les persones que entren a l'estat de latència i les que surten, la groga encara segueix pujant perquè els individus malalts estan més temps en aquest estat, i els efectes d'aquesta estabilitat no arriben a repercutir-los fins després d'uns dies. Aquest equilibri es dona quan la concentració de susceptibles ja no és prou elevada per seguir-se infectant al mateix ritme.

Simulació del 2n cas de l'efecte de la infectivitat sense hores de pati ni canvis de planta.

Dades d'interès

Dia de la realització: 3/8/14

Intents anteriors fallits: 0

Durada de la simulació: 2 hores i 38 minuts

Nombre total de ticks: 424.550

Finalitat de la simulació

Veure si l'evolució que segueix l'epidèmia del 2n cas de la simulació de l'efecte de la infectivitat varia si eliminem les hores de pati i els canvis de planta.

Característiques de l'epidèmia

Infectivitat: 50%

Probabilitat de desenvolupar immunitat: 0%

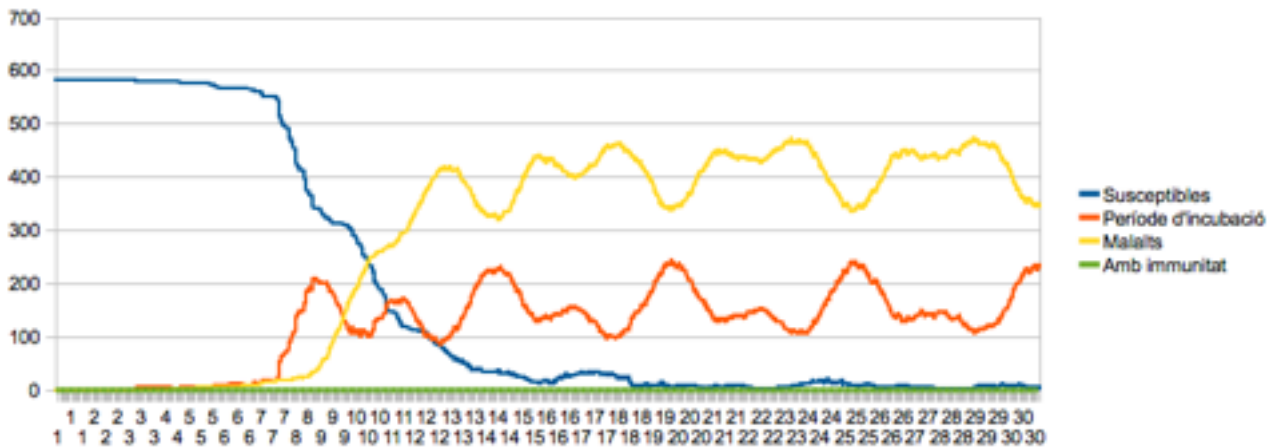
Durada de la immunitat: -

Durada de la malaltia (estat malalt): 4 dies

Dies amb possibilitat de transmetre el virus: 2 dies, el segon i el tercer de l'estat malalt.

Durada del període d'incubació (estat de latència del virus): Un valor aleatori entre 1 i 2 dies.

Gràfic de la simulació



Comentari del gràfic

En aquest cas no és fins al setè dia que el virus no comença a propagar-se més ràpidament. L'alta infectivitat fa que la franja vermella augmenti amb un pendent força pronunciat. Quan s'acaba el període d'incubació, la concentració disminueix en aquest estat, i la franja groga comença a augmentar. Com que els susceptibles continuen caient, segueixen infectant-se, i la franja vermella no tarda a tornar a pujar. Aleshores, tot i les irregularitats que presenten les línies, com a conseqüència de la infectivitat més gran, que produeix que els individus canviïn d'estat en un espai de temps més curt, s'observa que s'arriba a una certa estabilitat pel que fa a les concentracions d'individus de cada estat.

Simulació del 1r cas de l'efecte de la mortalitat sense hores de pati ni canvis de planta.

Dades d'interès

Dia de la realització: 3/8/14

Intents anteriors fallits: 0

Durada de la simulació: 1 hora i 5 minuts

Nombre total de ticks: 432.013

Finalitat de la simulació

Veure si l'evolució que segueix l'epidèmia del 1r cas de la simulació de l'efecte de la mortalitat varia si eliminem les hores de pati i els canvis de planta.

Característiques de l'epidèmia

Infectivitat: 10%

Probabilitat de recuperar-se: 95%

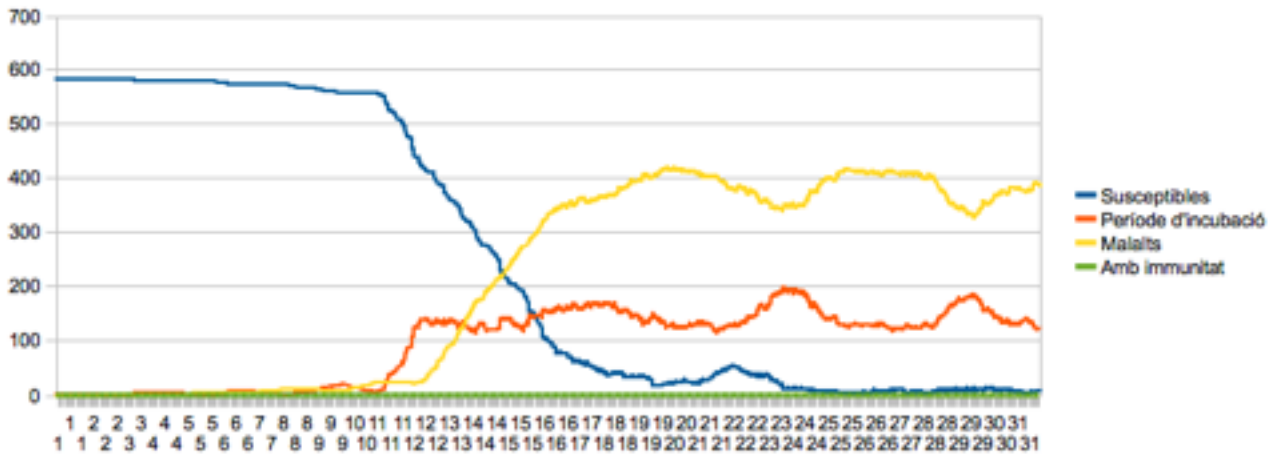
Durada de la immunitat: -

Durada de la malaltia (estat malalt): 4 dies

Dies amb possibilitat de transmetre el virus: 2 dies, el segon i el tercer de l'estat malalt.

Durada del període d'incubació (estat de latència del virus): Un valor aleatori entre 1 i 2 dies.

Gràfic de la simulació



Comentari del gràfic

Observem que fins a l'onzè dia l'avenç de l'epidèmia és molt lent. A partir d'aleshores, el nombre de canvis d'estat augmenta i l'epidèmia es transmet amb més facilitat. Però com a conseqüència del ritme d'infecció, la concentració d'individus en el període d'incubació mai arriba a superar els 200, i s'estabilitza perquè l'entrada contínua d'individus susceptibles a aquest estat no és suficientment ràpida per compensar els que passen a l'estat malalt. Aquesta estabilitat també repercuteix en la franja groga, i es produeix un equilibri entre estats semblant al d'altres casos.

Si en fixem en l'impacte de la mortalitat, com que només és del 5%, no s'observa que sigui determinant en el desenvolupament de l'epidèmia. Però, si fem la comparació amb els altres casos de mortalitat, tal com ja hem fet abans, el dia trenta només han mort 63 individus, el que representa un 10,8% de la població inicial. Així doncs, evitant les hores de pati i els canvis de planta s'aconsegueix reduir la mortalitat a gairebé la meitat (recordem que en el primer cas aquesta xifra era un 21%).

Simulació del 2n cas de l'efecte de la mortalitat sense hores de pati ni canvis de planta.

Dades d'interès

Dia de la realització: 3/8/14

Intents anteriors fallits: 0

Durada de la simulació: 1 hora i 5 minuts

Nombre total de ticks: 533.630

Finalitat de la simulació

Veure si l'evolució que segueix l'epidèmia del 2n cas de la simulació de l'efecte de la mortalitat varia si eliminem les hores de pati i els canvis de planta.

Característiques de l'epidèmia

Infectivitat: 10%

Probabilitat de recuperar-se: 75%

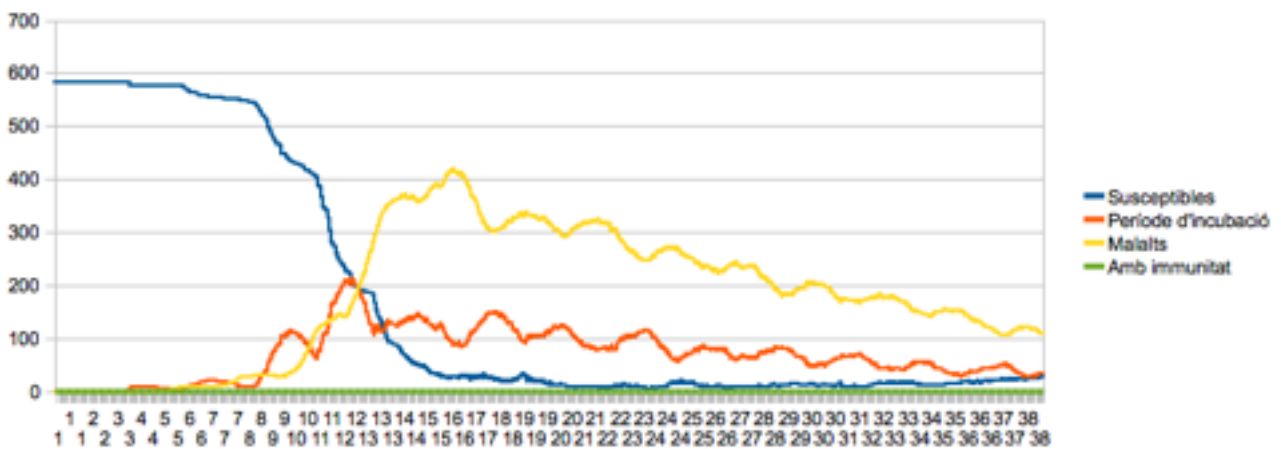
Durada de la immunitat: -

Durada de la malaltia (estat malalt): 4 dies

Dies amb possibilitat de transmetre el virus: 2 dies, el segon i el tercer de l'estat malalt.

Durada del període d'incubació (estat de latència del virus): Un valor aleatori entre 1 i 2 dies.

Gràfic de la simulació



Comentari del gràfic

A causa de les condicions que hem fixat pel que fa a la mobilitat dels alumnes per l'institut, com en aquests darrers escenaris, al virus li és costós transmetre's a l'inici. Fins que la infecció no arriba a un departament i els professors la porten cap a altres classes, la franja vermella no comença a augmentar. Això comporta també un augment posterior de la concentració d'individus malalts fins que arriben, com en el gràfic anterior, al punt en el qual s'haurien d'estabilitzar. Com a conseqüència, però, de la mortalitat situada al 25%, cada cop que tres individus es recuperen i tornen a ser susceptibles, un mor i per tant desapareix. Aquest fet es reflecteix en el gràfic, que a mesura que passa el temps es va fent més petit. Si el comparem amb altres exemples de casos amb mortalitat, mirant el dia trenta veiem que han mort un 54'2% d'individus del total de la població inicial, el que suposa una reducció de més de 10 punts amb el primer cas de l'efecte de la mortalitat del 25%.

Aspectes destacables dels casos de l'institut sense hores de pati ni canvis de planta

Els aspectes més destacables del conjunt de simulacions sense hores de pati ni canvis de planta en relació amb els escenaris anteriors són els següents:

A l'inici, al virus li és molt costós infectar suficients individus per poder apreciar una disminució notable dels susceptibles. En alguns casos, la franja vermella dels individus en període d'incubació no comença a augmentar fins a l'onzè dia.

L'evolució de la propagació és més lenta, perquè la dificultat més gran per transmetre's, com a conseqüència de la disminució de les possibilitats de contactes entre grups, fa que els canvis d'estat es produeixin de forma encara més dispersa en el temps. Per això les corbes són més amples i obertes, i les concentracions màximes encara són més baixes. La conseqüència directa d'aquest fenomen és que les concentracions dels diferents estats són cada cop més estables.

Com que és més difícil infectar-se, la presència de susceptibles en les simulacions augmenta.

Tot i això, el virus segueix infectant tota la població i esdevé endèmic, tret del primer cas.

També és important destacar que en els casos de l'efecte de la mortalitat, s'aconsegueix una reducció notable del nombre de morts, sobretot quan la mortalitat és del 5%, ja que com hem pogut comprovar, les concentracions del dia trenta de les simulacions sense hores de pati ni canvis de planta són més altes que en els casos anteriors, on les poblacions es veuen més afectades per la mortalitat.

Pel que fa a la resta de casos és important destacar que l'efecte que causen en el desenvolupament general de l'epidèmia és major que el dels casos de l'institut sense hores de pati. De fet, les diferències entre els casos de l'institut sense hores de pati ni canvis de planta i els casos de l'institut sense hores de pati són més grans que les que es poden trobar entre aquest darrer escenari i els casos que no presenten variacions del comportament dels agents.

Un institut sense hores de pati ni canvis d'aula

L'últim pas pel que fa a la modificació del comportament dels alumnes és impedir que no surtin al pati i que no canviïn d'aula. D'aquesta manera s'evita el contacte entre grups, perquè tots es queden tancats a les seves aules. Els únics agents que es mouen lliurement per tot l'institut són els professors, convertint-se així en els únics possibles transmissors del virus entre diferents classes.

Per realitzar aquestes simulacions he partit dels primers casos, per poder comparar els resultats i veure si efectivament, aquest canvi de comportament dificulta encara més la propagació del virus.

Simulació del 1r cas de l'efecte de la immunitat sense hores de pati ni canvis d'aula.

Dades d'interès

Dia de la realització: 4/8/14

Intents anteriors fallits: 0

Durada de la simulació: 51 minuts

Nombre total de ticks: 889.272

Finalitat de la simulació

Veure si l'evolució que segueix l'epidèmia del 1r cas de la simulació de l'efecte de la immunitat varia si eliminem les hores de pati i els canvis d'aula.

Característiques de l'epidèmia

Infectivitat: 10%

Probabilitat de desenvolupar immunitat: 100%

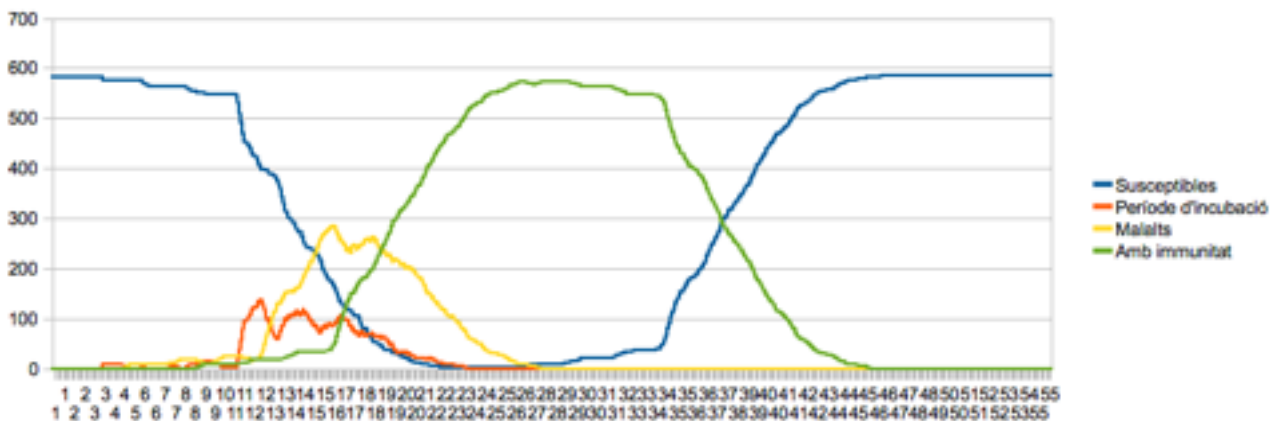
Durada de la immunitat: 18 dies

Durada de la malaltia (estat malalt): 4 dies

Dies amb possibilitat de transmetre el virus: 2 dies, el segon i el tercer de l'estat malalt.

Durada del període d'incubació (estat de latència del virus): Un valor aleatori entre 1 i 2 dies.

Gràfic de la simulació



Comentari del gràfic

Observem que han de passar onze dies perquè el virus surti de l'aula on s'ha iniciat, i comenci a transmetre's per altres classes. En aquests casos, com que els alumnes mai surten de les seves aules, podem estar segurs que els professors són els responsables de la propagació del virus. L'augment inicial dels infectats és bastant pronunciat. Això fa que tots surtin alhora del període d'incubació i passin a l'estat malalt. Quan la infectivitat d'aquests apareix, la franja vermella torna a pujar. Mentrestant, ja hi ha algunes persones que han començat a recuperar-se i desenvolupen la immunitat, per tant, els individus susceptibles encara decreixen més ràpidament. Això provoca, juntament amb la finalització de la malaltia, que cada cop hi hagi menys persones que s'infectin. L'últim malalt es recupera el dia 28, quan alguns individus ja han perdut la immunitat de 18 dies. Tot i això, la probabilitat que aquest grup es torni a infectar és molt baixa com a conseqüència de la reduïda mobilitat dels alumnes. Finalment, el virus desapareix de la població, que esdevé tota susceptible un altre cop.

Simulació del 2n cas de l'efecte de la immunitat sense hores de pati ni canvis d'aula.

Dades d'interès

Dia de la realització: 4/8/14

Intents anteriors fallits: 0

Durada de la simulació: 56 minuts

Nombre total de ticks: 445.206

Finalitat de la simulació

Veure si l'evolució que segueix l'epidèmia del 2n cas de la simulació de l'efecte de la immunitat varia si eliminem les hores de pati i els canvis d'aula.

Característiques de l'epidèmia

Infectivitat: 10%

Probabilitat de desenvolupar immunitat: 90%

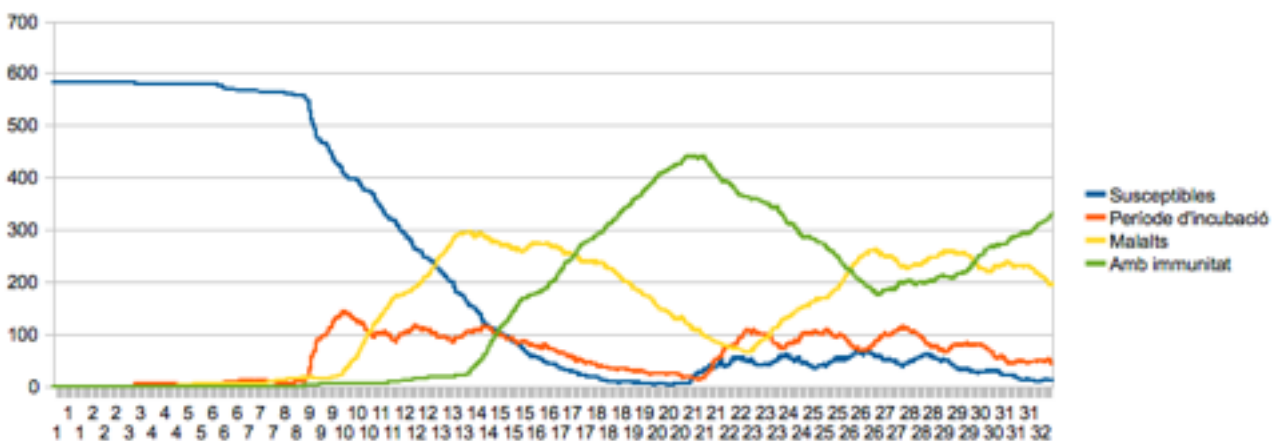
Durada de la immunitat: 7 dies

Durada de la malaltia (estat malalt): 4 dies

Dies amb possibilitat de transmetre el virus: 2 dies, el segon i el tercer de l'estat malalt.

Durada del període d'incubació (estat de latència del virus): Un valor aleatori entre 1 i 2 dies.

Gràfic de la simulació



Comentari del gràfic

Observem que fins al novè, l'epidèmia no aconsegueix transmetre's a un nombre més gran d'individus susceptibles. Quan els infectats comencen a créixer, ho fan molt bruscament, tenint en compte que la infectivitat no ha variat respecte altres casos. De seguida, però, la franja vermella s'estabilitza amb una concentració aproximada de 100 individus. Com a conseqüència, els individus en estat malalt no arriben a superar els 300. Quan aquests passen a l'estat immune, la franja verda comença a augmentar, mentre les altres disminueixen. Aleshores, el període d'immunitat va acabant-se, perquè només dura set dies, i la franja verda decreix. Aquest fet provoca que els susceptibles augmentin, de la mateixa manera que els individus en període de latència, i poc després els malalts. Tot i això, no assoleixen unes concentracions tan altes com les d'abans perquè els canvis d'estat es produeixen de manera més dispersa en el temps.

Simulació del 1r cas de l'efecte de la infectivitat sense hores de pati ni canvis d'aula.

Dades d'interès

Dia de la realització: 4/8/14

Intents anteriors fallits: 0

Durada de la simulació: 2 hores i 1 minut

Nombre total de ticks: 414.386

Finalitat de la simulació

Veure si l'evolució que segueix l'epidèmia del 1r cas de la simulació de l'efecte de la infectivitat varia si eliminem les hores de pati i els canvis d'aula.

Característiques de l'epidèmia

Infectivitat: 2%

Probabilitat de desenvolupar immunitat: 0%

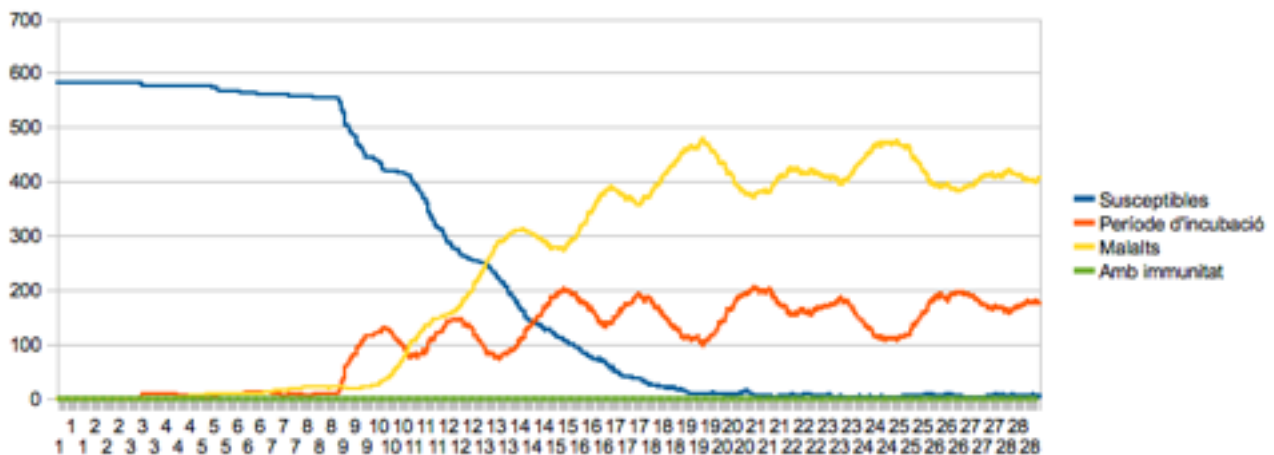
Durada de la immunitat: -

Durada de la malaltia (estat malalt): 4 dies

Dies amb possibilitat de transmetre el virus: 2 dies, el segon i el tercer de l'estat malalt.

Durada del període d'incubació (estat de latència del virus): Un valor aleatori entre 1 i 2 dies.

Gràfic de la simulació



Comentari del gràfic

S'observa que el decreixement dels susceptibles s'accelera a partir del vuitè dia. Aleshores el nombre de canvis d'estat que es produeixen entre els individus comença a augmentar. La franja vermella, però, no arriba a superar la concentració de 200 individus. S'estabilitza entre els 100 i els 200, tot i que les concentracions varien molt entre aquests dos valors. La franja groga segueix pujant perquè la durada de l'estat malalt és major. La concentració màxima arriba gairebé als 500 individus i aleshores s'estabilitza. Cada cop les franges tendiran a anar més paral·leles perquè els canvis d'estat s'aniran produint de manera més dispersa en el temps.

Simulació del 2n cas de l'efecte de la infectivitat sense hores de pati ni canvis d'aula.

Dades d'interès

Dia de la realització: 4/8/14

Intents anteriors fallits: 0

Durada de la simulació: 1 hora i 41 minuts

Nombre total de ticks: 396.992

Finalitat de la simulació

Veure si l'evolució que segueix l'epidèmia del 2n cas de la simulació de l'efecte de la infectivitat varia si eliminem les hores de pati i els canvis d'aula.

Característiques de l'epidèmia

Infectivitat: 50%

Probabilitat de desenvolupar immunitat: 0%

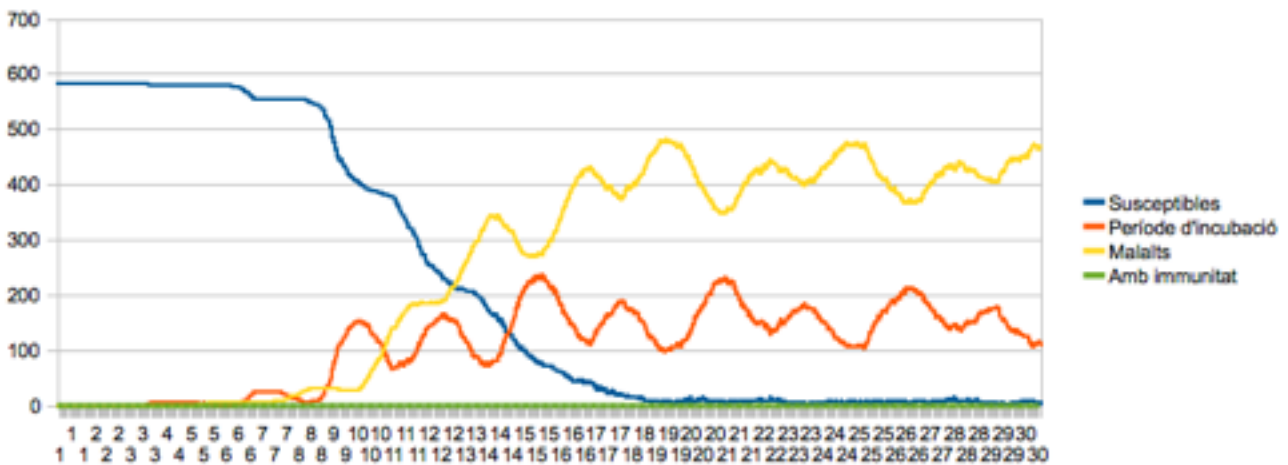
Durada de la immunitat: -

Durada de la malaltia (estat malalt): 4 dies

Dies amb possibilitat de transmetre el virus: 2 dies, el segon i el tercer de l'estat malalt.

Durada del període d'incubació (estat de latència del virus): Un valor aleatori entre 1 i 2 dies.

Gràfic de la simulació



Comentari del gràfic

En aquest cas, els individus en període d'incubació creixen molt poc, abans de passar a l'estat malalt i començar a infectar amb rapidesa més individus entre el vuitè i el novè dia. Comparant-lo amb el gràfic de la simulació sense hores de pati ni canvis de planta, veiem que el progrés de l'epidèmia encara s'alenteix una mica. Tot i així, l'augment de la concentració es produeix en molt poc temps, a causa de la infectivitat més gran. Aquest fet, esmentat ja en altres comentaris, fa que els canvis al llarg de tota la simulació es produeixin més brusquement, i que les corbes siguin més pronunciades. Tot i això, el desenvolupament general de l'epidèmia és si fa no fa el mateix que en

el cas anterior. Les concentracions de cada estat arriben als seus valors més alts, i posteriorment s'estabilitzen. A mesura que avanci el virus, però, les franges s'aniran fent més paral·leles, ja que tots els individus canviaran d'estat en instants diferents de temps.

Simulació del 1r cas de l'efecte de la mortalitat sense hores de pati ni canvis d'aula.

Dades d'interès

Dia de la realització: 4/8/14

Intents anteriors fallits: 0

Durada de la simulació: 1 hora i 13 minuts

Nombre total de ticks: 418.957

Finalitat de la simulació

Veure si l'evolució que segueix l'epidèmia del 1r cas de la simulació de l'efecte de la mortalitat varia si eliminem les hores de pati i els canvis d'aula.

Característiques de l'epidèmia

Infectivitat: 10%

Probabilitat de recuperar-se: 95%

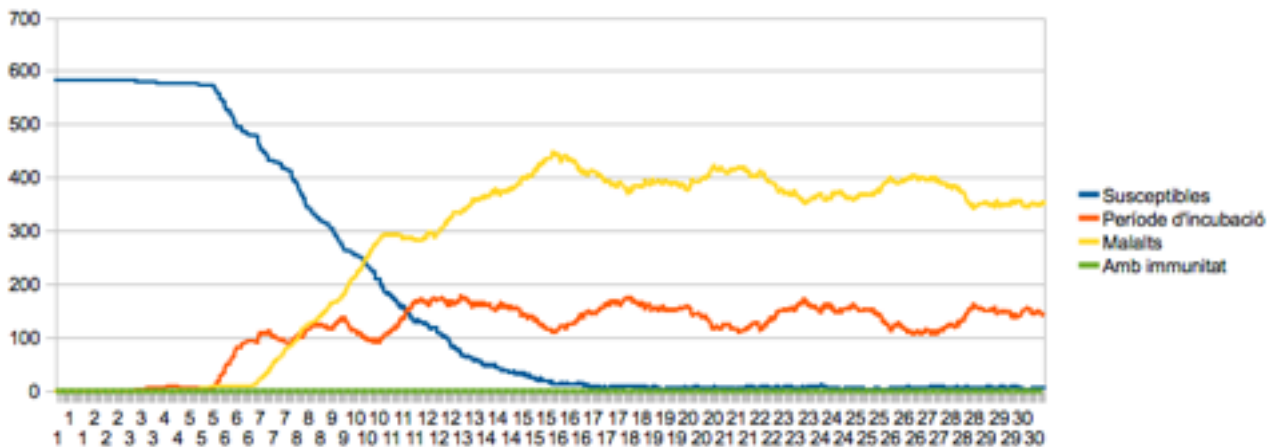
Durada de la immunitat: -

Durada de la malaltia (estat malalt): 4 dies

Dies amb possibilitat de transmetre el virus: 2 dies, el segon i el tercer de l'estat malalt.

Durada del període d'incubació (estat de latència del virus): Un valor aleatori entre 1 i 2 dies.

Gràfic de la simulació



Comentari del gràfic

Observem que la concentració d'individus susceptibles no comença a disminuir fins al dia cinc. A partir d'aleshores, el decreixement es manté constant fins que la concentració esdevé de 100 individus el dia dotze. Llavors la disminució s'alenteix un pèl, possiblement perquè la mortalitat del 5% ja comença a fer-se notar. Mentrestant, els altres estats ja han arribat a les seves concentracions màximes, i posteriorment s'han estabilitzat. A mesura que passa el temps, es veu com el gràfic es va fent cada cop més petit, ja que com a conseqüència de la mortalitat, la

població va disminuint. Fent la comparació amb els altres casos per veure si les modificacions en el comportament han tingut algun efecte en el desenvolupament de l'epidèmia, veiem que al dia trenta, la reducció d'individus respecte la població inicial ha estat del 14%, xifra que en el primer cas era del 21%.

Simulació del 2n cas de l'efecte de la mortalitat sense hores de pati ni canvis d'aula.

Dades d'interès

Dia de la realització: 4/8/14

Intents anteriors fallits: 0

Durada de la simulació: 1 hora i 5 minuts

Nombre total de ticks: 494.332

Finalitat de la simulació

Veure si l'evolució que segueix l'epidèmia del 2n cas de la simulació de l'efecte de la mortalitat varia si eliminem les hores de pati i els canvis d'aula.

Característiques de l'epidèmia

Infectivitat: 10%

Probabilitat de recuperar-se: 75%

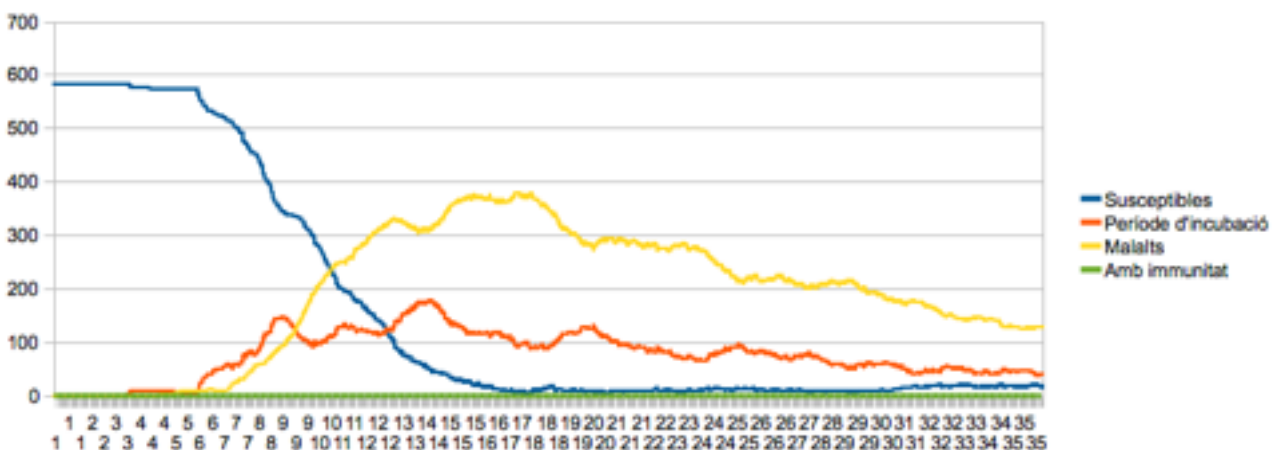
Durada de la immunitat: -

Durada de la malaltia (estat malalt): 4 dies

Dies amb possibilitat de transmetre el virus: 2 dies, el segon i el tercer de l'estat malalt.

Durada del període d'incubació (estat de latència del virus): Un valor aleatori entre 1 i 2 dies.

Gràfic de la simulació



Comentari del gràfic

Observem que la franja vermella comença a despuntar uns dies abans que en els anteriors casos, però no augmenta tan ràpidament. La progressió cap a la concentració màxima de cada estat és més lenta. La dificultat en la propagació i el fet que cada cop hi ha menys individus que es recuperen, a causa de l'alta mortalitat, provoca aquesta lenta progressió. De seguida, però, les concentracions comencen a disminuir i el gràfic es va fent més petit. Al final s'observa que els

susceptibles augmenten un pèl, segurament, perquè la presència cada cop menor d'individus infecciosos, fa que sigui encara més difícil infectar-se. El dia trenta la població s'ha vist reduïda un 55% respecte a la inicial, valor similar al dels casos anteriors amb la mortalitat del 25%.

Aspectes destacables dels casos de l'institut sense hores de pati ni canvis d'aula

Els aspectes més destacables del conjunt de simulacions de l'institut sense hores de pati ni canvis d'aula en relació amb els escenaris anteriors són els següents:

En aquestes simulacions podem assegurar que els professors són els únics responsables de la transmissió del virus entre les diferents classes.

Com en els anteriors casos, a l'inici al virus li és difícil transmetre's, i molt pocs susceptibles esdevenen infectats.

També observem que el decreixement dels susceptibles és menys pronunciat, i per tant, s'infecten més lentament. Aquest fet repercuteix en les concentracions, que no arriben a valors tan elevats com abans.

Pel que fa als casos de l'efecte de la infectivitat, sobta la seva similitud, no tan visible en altres escenaris. Això ens indica que si limitem molt el comportament dels alumnes, la característica de la infectivitat del virus no és tan transcendent en el desenvolupament de l'epidèmia.

Si ens fixem en els casos de l'efecte de la mortalitat, observem que les franges són més rectes, és a dir, la dispersió dels canvis d'estat en el temps és major, i per tant s'arriba abans a una estabilitat. Tot i això, la mortalitat segueix sense condicionar el desenvolupament del virus.

En general, podem dir que el dibuix dels gràfics és similar al dels casos sense hores de pati ni canvis de planta.

4.4 Model basat en una xarxa de contactes «*Model 2*»

No hi ha una única manera d'estudiar la propagació d'una epidèmia. Ja he parlat al marc teòric dels models matemàtics que consideren una població homogènia, i també dels models basats en agents, on cada individu presenta un comportament determinat que influeix en el desenvolupament de l'epidèmia.

Una altra forma d'estudiar aquest fenomen consisteix en la construcció d'una xarxa de contactes*, en la qual, cada individu és representat per un node. Si dos individus es coneixen i es relacionen, els dos nodes que els representen s'enllacen, perquè si algun d'ells esdevé infectat, és més probable que l'epidèmia es transmeti entre aquests dos individus, que no pas que ho faci entre dues persones que no mantenen cap relació.^[28]

En aquest model els agents no es mouen, ja que l'epidèmia es transmet d'un individu a un altre a través dels seus enllaços. D'aquesta manera, si dues persones no estan enllaçades, la infecció no es podrà transmetre directament entre elles, sinó que haurà de seguir un altre camí, passant primer per altres individus, els quals sí que estaran enllaçats. Així és com l'epidèmia es propaga i acaba infectant a diferents persones que potser mai han mantingut cap tipus de relació.

L'avantatge principal d'utilitzar el model d'una xarxa per estudiar el desenvolupament d'una epidèmia és que s'aconsegueix una representació de la realitat, en la qual, no tots els individus tenen les mateixes possibilitats d'infectar-se, un cop s'introdueix un infecció en la població. Només aquells qui estan enllaçats amb ell podran contraure la infecció.

L'inconvenient principal d'utilitzar aquest model és, però, la impossibilitat de conèixer totes les relacions que manté un individu determinat. Per això, la xarxa de contactes sempre serà una aproximació de la realitat.

Per construir el model d'una xarxa que representés els contactes que tenen lloc a l'institut, he utilitzat el NetLogo.

4.4.1 La xarxa de contactes de l'institut amb el NetLogo

La impossibilitat de poder representar totes les relacions de tots els individus de l'institut, m'ha portat a aproximar i simplificar alguns aspectes.

Com que amb l'anterior model de l'institut ja hem comprovat que quan s'infecta un individu d'una classe, tota la resta del grup acaba també infectat, he decidit que cada classe estigués representada al model amb un únic node. Així doncs, el model consta de 63 nodes, 45 dels quals són professors, i 18 dels quals són classes.

Pel que fa als enllaços, n'he establert entre els professors d'un mateix departament, entre els professors i les seves classes, i entre les classes d'un mateix curs.

* El model es pot descarregar des de la pàgina <http://institutarnaucadell.cat/images/TRepidemies/>

La programació d'aquest model ha estat més simple, perquè no m'he hagut de preocupar pel moviment dels agents. Tot i així, val la pena donar un cop d'ull al codi.

El codi

A l'hora d'escriure el codi he començat definint les variables que posseeixen les "turtles". En aquest cas són quatre. "Infected?" ens permet saber si una turtle està infectada o no. "Immune?" ens permet saber si una "turtle" és immune o no. El "time-sick" serveix per representar el pas del temps. I la "identification" ens permet diferenciar els professors i les classes.

```
turtles-own
[
  infected?
  immune?
  time-sick
  identification
]
```

A continuació, amb el procediment "setup", ho posem tot al seu lloc i ho preparam per poder executar el model.

Com que cada cop que vulguem fer anar-lo, haurem de reiniciar els comptadors i la interfície, escrivim "clear-all". Després ja comencem definint la forma que volem que tinguin les "turtles", en aquest cas un cercle. En creem 63, i les col·loquem aleatòriament a la interfície. Perquè no estiguin massa a prop dels marges, multipliquem els valors de les "x" i les "y" per 0.95. També especifiquem que a l'inici totes siguin susceptibles.

```
to setup
  clear-all
  set-default-shape turtles "circle"
  crt 63
  [
    ; for visual reasons, we don't put any nodes *too* close to the
    edges
    setxy (random-xcor * 0.95) (random-ycor * 0.95)
    become-susceptible
  ]
```

Per poder diferenciar entre professors i classes, establim que cada una de les primeres 45 “turtles” (de la 0 a la 44) tingui una mida d’1 i que la variable “identification” sigui “professor”, mitjançant un bucle que es repeteix 45 vegades.

```
let firstprofessor 0
  repeat 45
    [ ask turtle (firstprofessor)
      [
        set size 1
        set identification "professor"
      ]
      set firstprofessor firstprofessor + 1
    ]
```

Cada una de les darreres 18 “turtles” (de la 45 a la 62) té una mida més gran perquè representa una classe, i la variable “identification” és “student”. També les creem amb un bucle que, aquest cop, es repeteix 18 vegades.

```
let firstclassroom 45
  repeat 18
    [ ask turtle ( firstclassroom )
      [
        set size 3
        set identification "student"
      ]
      set firstclassroom firstclassroom + 1
    ]
```

Per crear els enllaços entre els diferents nodes, he fet que a cada “turtle” li correspongués un professor o una classe determinada (per veure quina “turtle” és cada professor o cada classe, anar a l’annex). Per exemple, la “turtle 0” és una professora de matemàtiques. En aquest cas, l’he enllaçada amb els professors del seu departament i amb els grups als quals fa classe.

```
ask turtle 0 [  
  create-link-with turtle 6  
  create-link-with turtle 19  
  create-link-with turtle 26  
  create-link-with turtle 42  
  create-link-with turtle 51  
  create-link-with turtle 50  
  create-link-with turtle 46  
  create-link-with turtle 62  
  create-link-with turtle 49]
```

Un dels objectius d'aquest model era que manipular les condicions inicials fos simple. Una d'aquestes condicions és la que fa referència a la vacunació. Per això he afegit a la interfície una variable global que he anomenat "vaccination". El programa Netlogo permet crear un menú desplegable de color verd amb diverses opcions. Abans de pitjar el botó "setup", aquell qui manipuli el model, pot seleccionar una de les quatre opcions. "Nobody" fa que ningú estigui vacunat. "Students" fa que les "turtles" amb "identification = student" estiguin vacunades. "Professors" fa que les "turtles" amb "identification = professor" estiguin vacunades. L'opció "professors with more links" fa que els professors amb més de 9 enllaços estiguin vacunats. I l'opció "students with more links" fa que les classes amb més de 12 enllaços estiguin vacunades.

```
ask turtles [  
  if vaccination = "students" [  
    ask turtles with [ identification = "student"]  
    [become-vaccinated]  
  ]  
  if vaccination = "professors" [  
    ask turtles with [ identification = "professor"]  
    [become-vaccinated]  
  ]  
  if vaccination = "students with more links" [  
    ask turtles with [ count my-links > 12 and identification  
= "student" ]  
    [become-vaccinated]  
  ]  
  if vaccination = "professors with more links" [  
    ask turtles with [ count my-links > 9 and identification =  
"professor" ]  
    [become-vaccinated]  
  ] ]
```

A l'inici volem que hi hagi una "turtle" aleatòria infectada, i establim que el seu "time-sick" sigui de 200.

```
ask n-of 1 turtles
  [ become-infected
    set time-sick 200
  ]
```

Fins ara hem vist que les "turtles" poden tenir diversos estats, com: "become-susceptible", "become-vaccinated" o "become-infected". Però, perquè cada "turtle" tingui unes determinades característiques depenent del seu estat, aquests s'han de definir. Per cada un, es determina si les variables "infected?" i "immune?" són certes o falses, el color dels agents, i el color dels enllaços.

```
to become-vaccinated
  set infected? false
  set immune? true
  set color yellow
  ask my-links [ set color yellow]
end

to become-infected
  set infected? true
  set immune? false
  set color red
  set time-sick 200
end

to become-susceptible
  set infected? false
  set immune? false
  set color green
end
```

```
to become-immune
  set infected? false
  set immune? true
  set color gray
  ask my-links [ set color gray -
2 ]
end

to become-dead
  set infected? false
  set immune? true
  set color black
  ask my-links [ set color black]
end
```

Un cop ja ho tenim tot preparat per executar el model, cal programar allò que volem que passi durant les simulacions, és a dir, hem d'escriure el procediment "go".

Primer comencem dient-li que el model s'aturi i l'arxiu on anem recollint les dades es tanqui, si ja no queda cap "turtle" infectada.

També escrivim que el "time-sick" de les "turtles" infectades, que havíem establert en 200 al "setup", a cada tick disminueixi una unitat. D'aquesta manera, després de 200 ticks, el "time-sick" de les "turtles" infectades serà igual a zero.

A dins del procediment "go" també col·loquem tres procediments perquè quan pitgem el botó "go" el virus comenci a propagar-se, els infectats es recuperin, i les dades es guardin en un arxiu.

```
to go
  if all? turtles [not infected?]
    [ file-close
      stop ]

  ask turtles with [ infected? ]
    [ set time-sick time-sick - 1
      ]

  spread-virus
  recover
  write-to-file
  tick
end
```

Així doncs, per fer que l'epidèmia es propagui diem a les "turtles" infectades i amb el "time-sick" igual a zero, que si estan enllaçades amb altres nodes sense immunitat i resulta que un nombre aleatori del zero al cent és més petit que la "virus-spread-chance", que sigui possible la transmissió del virus a les "turtles" veïnes.

La "virus-spread-chance" és un altre cas de variable global definida a la interfície. Representa la probabilitat de transmissió del virus, és a dir, la infectivitat, que es pot graduar amb una barra lliscant.

```
to spread-virus
  ask turtles with [infected? and time-sick = 0]
    [ ask link-neighbors with [not immune?]
      [ if random-float 100 < virus-spread-chance
        [ become-infected ] ] ]
end
```

Per fer que els infectats es recuperin, diem a les “turtles” infectades i amb “time-sick” de -200, que si un nombre aleatori del zero al cent és més petit que la “recovery-chance” (variable global com “virus-spread-chance”), es tornin immunes, i que en cas contrari, si l'interruptor “mortality?” de la interfície està apagat, que es tornin susceptibles, però si està encès, que les “turtles” morin.

```
to recover
  ask turtles with [infected? and time-sick = -200]
  [
    ifelse random 100 < recovery-chance
      [ become-immune]
      [ ifelse mortality? [become-dead] [become-susceptible ]
    ]
  ]
end
```

El darrer procediment del model és el que ha de servir per guardar les dades de la simulació en un arxiu que s'obre al “setup” i es tanca quan ja no queden “turtles” infectades. Per fer-ho, escrivim que cada 200 ticks, que és el que el virus tarda a transmetre's als individus enllaçats, a l'arxiu s'imprimeixi una llista anomenada “output-line”. Aquesta llista conté el nombre de les diferents “turtles” de cada estat, diferenciant els professors i les classes.

```
to write-to-file
  if ticks mod 200 = 0
    [let susceptiblesprof count turtles with [ color = green and
identification = "professor"]
      let infectiousprof count turtles with [ color = red and
identification = "professor"]
      let immuneprof count turtles with [ color = gray and identification
= "professor"]
      let susceptiblesstu count turtles with [ color = green and
identification = "student"]
      let infectiousstu count turtles with [ color = red and
identification = "student"]
      let immunestu count turtles with [ color = gray and identification
= "student"]
      let output-line lput immunestu lput ";" lput infectiousstu lput
";" lput susceptiblesstu lput ";" lput immuneprof lput ";" lput
infectiousprof lput ";" lput susceptiblesprof []
      file-print (output-line )
    ]
end
```

4.4.2 Diferències amb el «*Model 1*»

Tenint en compte les característiques d'aquest model en concret, així com en l'altre m'he centrat a fer experiments sobre el comportament i la mobilitat dels agents, en aquest em centro bàsicament en l'efecte de les vacunacions sobre el desenvolupament de l'epidèmia. I és que resulta més fàcil visualitzar les relacions entre els diferents individus, i és més simple detectar els agents amb més enllaços. Per tant, aquest model ha de servir per confirmar la segona hipòtesi.

Una diferència si més no considerable, és el tractament del temps. En l'anterior model, existia un horari seguit per tots els agents. Això provocava que la possibilitat d'un alumne d'establir contacte amb un professor determinat o amb un alumne d'una altra classe variés amb el temps. O que durant un període determinat un individu fos o no infecciós.

En aquest model, però, no hi ha horaris ni períodes, per això no té sentit parlar del període d'infecció o de la duració de la immunitat. Simplement, cada 200 ticks, el virus es transmet d'un individu infecciós a altres individus els quals estan enllaçats amb ell. I cada 400 ticks, els individus infecciosos es recuperen. Aquests valors només s'han introduït per fer més fàcil la visualització de cada pas o cada cop que el virus es transmet, i per facilitar el recompte final de passos. Per tant, és molt important no identificar aquests nombres com a unitats de temps.

Donada aquesta característica, el que és realment interessant en aquestes simulacions, és veure quantes vegades s'ha de transmetre el virus o quants passos necessita, perquè al final s'eliminin els infectats.

Una altra diferència amb el model anterior és que com en aquest cada classe, i no cada alumne, és una "turtle", s'han de realitzar dos gràfics, un per les classes, i l'altre per als professors, ja que ajuntar-los en un mateix gràfic seria absurd. En un cas es tracta d'individus independents i en l'altre són grups d'individus.

Tots aquests fets dificulten la comparació amb l'anterior model.

4.5 Anàlisi de la propagació d'epidèmies amb el «*Model 2*»

4.5.1 Simulacions del «*Model 2*»

Estructura de les simulacions

L'estructura de les simulacions d'aquest model és semblant a l'anterior, ja que analitzo per separat els efectes de la immunitat, la infectivitat i la mortalitat. Per cadascun d'aquests escenaris incorporo les diferents opcions de vacunació: la vacunació dels professors, la vacunació dels alumnes, la vacunació de les classes amb més enllaços i la vacunació dels professors amb més enllaços.

La curta duració de les simulacions em permet fer-ne moltes sense gaires problemes. Per això, de cada escenari n'he fet com a mínim quatre. D'aquesta manera m'és possible comprovar que els resultats són correctes.

Estructura de les fitxes

Les fitxes referents a les simulacions del model basat en la xarxa de contactes estan estructurades pràcticament de la mateixa manera que les anteriors. També consten de cinc apartats. Els tres primers: les dades d'interès, la finalitat de les simulacions i les característiques de l'epidèmia, continuen sent iguals. Pel que fa als gràfics*, per cada un dels diferents casos n'analitzo dos, un de les classes i un altre dels professors. Tot i això, en lloc d'escriure un comentari, m'ha semblat més encertat simplement mostrar els resultats més destacables, com ho són les concentracions màximes i mínimes, les finals, o el nombre total de transmissions necessàries per eliminar el virus. He decidit fer-ho així perquè en aquest darrer model, la immobilitat dels agents i l'existència de menys estats, impedeix que ocorrin situacions difícilment deduïbles a partir de l'observació del gràfic, reduint la complexitat de l'explicació referent al desenvolupament de l'epidèmia.

4.5.1.1 L'efecte de la immunitat analitzat amb el «*Model 2*»

En aquest següent conjunt de simulacions analitzo quin és l'efecte de les vacunacions en dos casos amb immunitat, una infectivitat del 20% i sense mortalitat.

En el primer cas he situat la probabilitat d'adquirir la immunitat de per vida en un 50%. D'aquesta manera, un de cada dos nodes que es recuperen de la infecció passa a ser immune.

En el segon cas he situat la probabilitat d'adquirir la immunitat en un 2%. D'aquesta manera, un de cada 50 nodes que es recuperen després d'haver-se infectat passa a ser immune.

En tots dos casos, aquells que no desenvolupen la immunitat, tornen a esdevenir susceptibles.

1r cas de les simulacions de l'efecte de la immunitat

Dades d'interès:

Dia de la realització: 16/8/14

Intents anteriors fallits: 0

Durada de les simulacions: 0 minuts

Nombre total de ticks de la simulació 1: 6.400

Nombre total de ticks de la simulació 2: 6.800

Nombre total de ticks de la simulació 3: 6.400

Nombre total de ticks de la simulació 4: 5.800

Mitjana del nombre total de ticks: 6.350

Mitjana del nombre de transmissions per eliminar el virus (cada 200 ticks es produeix una transmissió, per tant s'ha de dividir la mitjana del nombre de ticks totals per 200): 31,75

* Tots els gràfics han estat elaborats amb un full de càlcul OpenOffice a partir de les dades exportades dels experiments realitzats amb el programa NetLogo.

Finalitat de les simulacions:

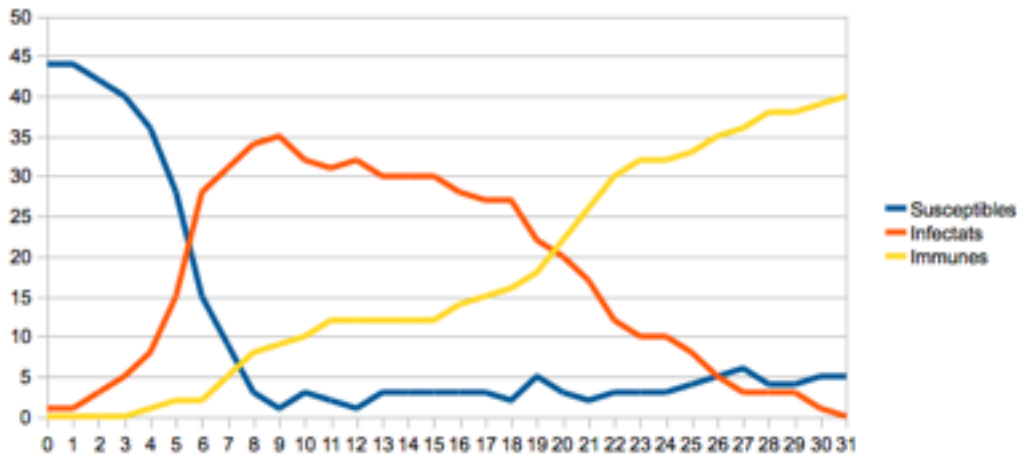
Veure quin és l'efecte del 1r cas de l'efecte de la immunitat en el desenvolupament d'una epidèmia a l'institut, en un model de xarxa de contactes.

Característiques de l'epidèmia:

Mortalitat: No Probabilitat de desenvolupar la immunitat: 50%

Infectivitat: 20%

Gràfic dels professors de la simulació 1:



Resultats a destacar:

Primer infectat: Un professor

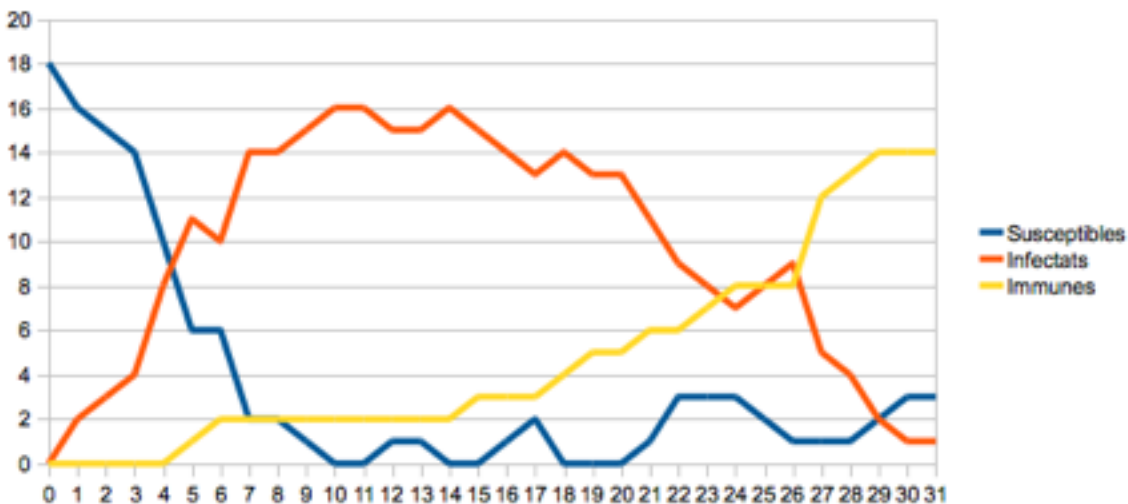
Concentració màxima d'infectats: 35 infectats en la novena transmissió del virus

Concentració mínima de susceptibles: 1 susceptible en la novena i la dotzena transmissió del virus

Concentracions finals de cada estat: 5 susceptibles i 40 immunes

Nombre de transmissions necessàries per eliminar el virus: 31

Gràfic de les classes de la simulació 1:



Resultats a destacar:

Primer infectat: Un professor

Concentració màxima de classes infectades: 16 infectades en la desena, l'onzena i la catorzena transmissió del virus

Concentració mínima de classes susceptibles: 0 susceptibles en la desena, l'onzena, la catorzena, la quinzena, la divuitena, la dinovena i la vintena transmissió del virus

Concentracions finals de cada estat: 3 susceptibles i 15 immunes

Nombre de transmissions necessàries per eliminar el virus: 32

Efecte de les vacunacions als professors del 1r cas de l'efecte de la immunitat

Dades d'interès:

Dia de la realització: 16/8/14

Intents anteriors fallits: 0

Durada de les simulacions: 0 minuts

Nombre total de ticks de la simulació 1: 400

Nombre total de ticks de la simulació 2: 600

Nombre total de ticks de la simulació 3: 600

Nombre total de ticks de la simulació 4: 800

Mitjana del nombre total de ticks: 600

Mitjana del nombre de transmissions per eliminar el virus (cada 200 ticks es produeix una transmissió, per tant s'ha de dividir la mitjana del nombre de ticks totals per 200): 3

Finalitat de les simulacions:

Veure quin és l'efecte de les vacunacions als professors en el 1r cas de l'efecte de la immunitat en el desenvolupament d'una epidèmia a l'institut, en un model de xarxa de contactes.

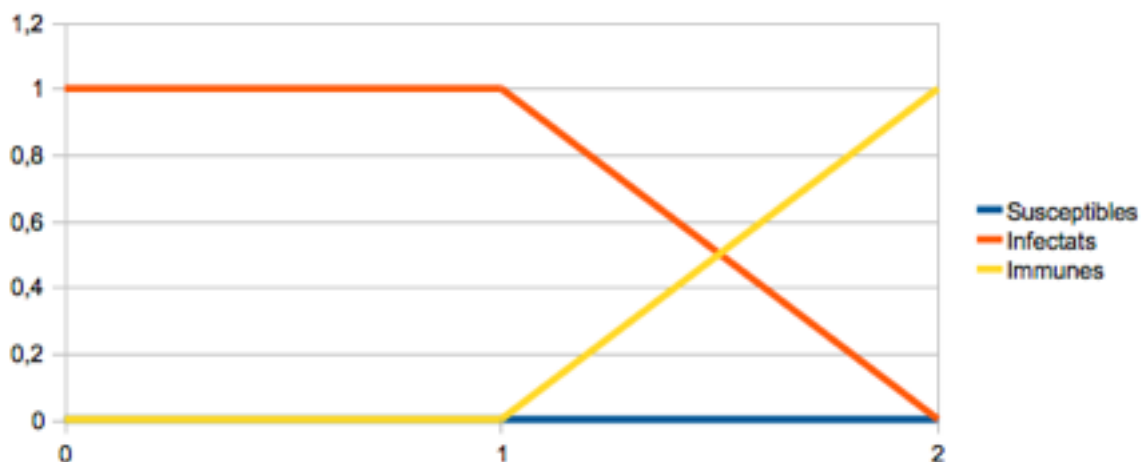
Característiques de l'epidèmia:

Mortalitat: No

Probabilitat de desenvolupar la immunitat: 50%

Infectivitat: 20%

Gràfic dels professors de la simulació 2:



Resultats a destacar:

Primer infectat: Un professor

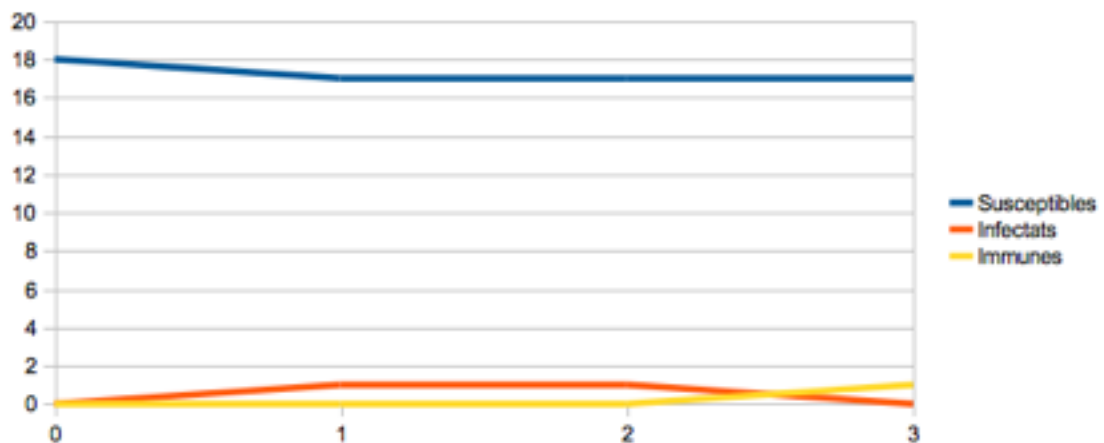
Concentració màxima d'infectats: 1 infectat en la primera transmissió del virus

Concentració mínima de susceptibles: 0 susceptibles (no hi ha professors susceptibles perquè tots estan vacunats)

Concentracions finals de cada estat: 44 vacunats i 1 immune

Nombre de transmissions necessàries per eliminar el virus: 2

Gràfic de les classes de la simulació 2:



Resultats a destacar:

Primer infectat: Un professor

Concentració màxima de classes infectades: 1 infectada en la primera i la segona transmissió del virus

Concentració mínima de classes susceptibles: 17 susceptibles

Concentracions finals de cada estat: 17 susceptibles i 1 immune

Nombre de transmissions necessàries per eliminar el virus: 2

Efecte de les vacunacions a les classes del 1r cas de l'efecte de la immunitat

Dades d'interès:

Dia de la realització: 17/8/14

Intents anteriors fallits: 0

Durada de les simulacions: 0 minuts

Nombre total de ticks de la simulació 1: 1.400

Nombre total de ticks de la simulació 2: 600

Nombre total de ticks de la simulació 3: 600

Nombre total de ticks de la simulació 4: 400

Mitjana del nombre total de ticks: 750

Mitjana del nombre de transmissions per eliminar el virus (cada 200 ticks es produeix una transmissió, per tant s'ha de dividir la mitjana del nombre de ticks totals per 200): 3,75

Finalitat de les simulacions:

Veure quin és l'efecte de les vacunacions a les classes en el 1r cas de l'efecte de la immunitat en el desenvolupament d'una epidèmia a l'institut, en un model de xarxa de contactes.

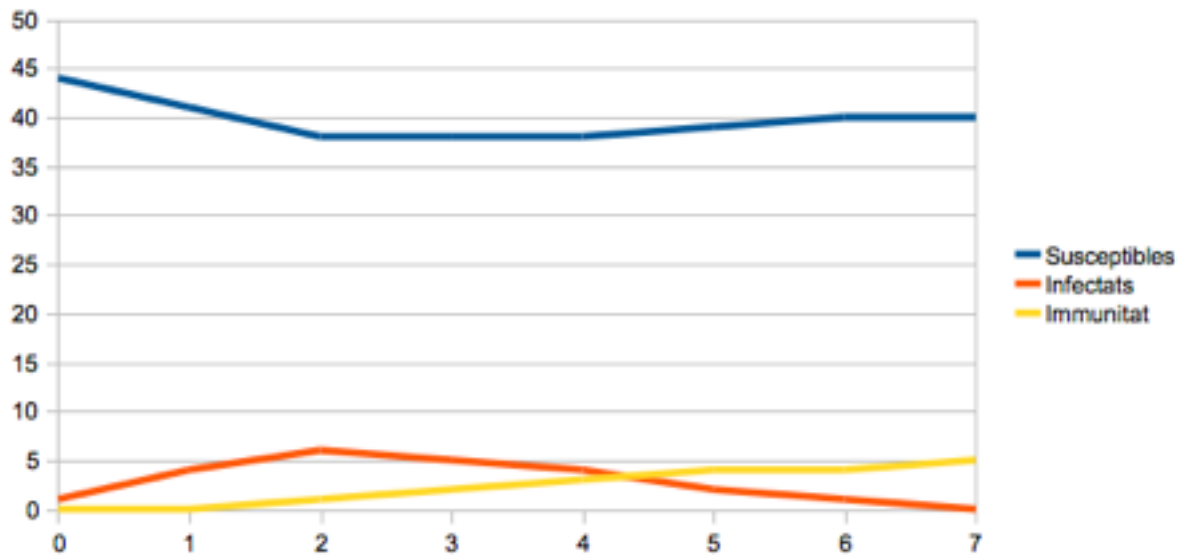
Característiques de l'epidèmia:

Mortalitat: No

Probabilitat de desenvolupar la immunitat: 50%

Infectivitat: 20%

Gràfic dels professors de la simulació 1:



Resultats a destacar:

Primer infectat: Un professor

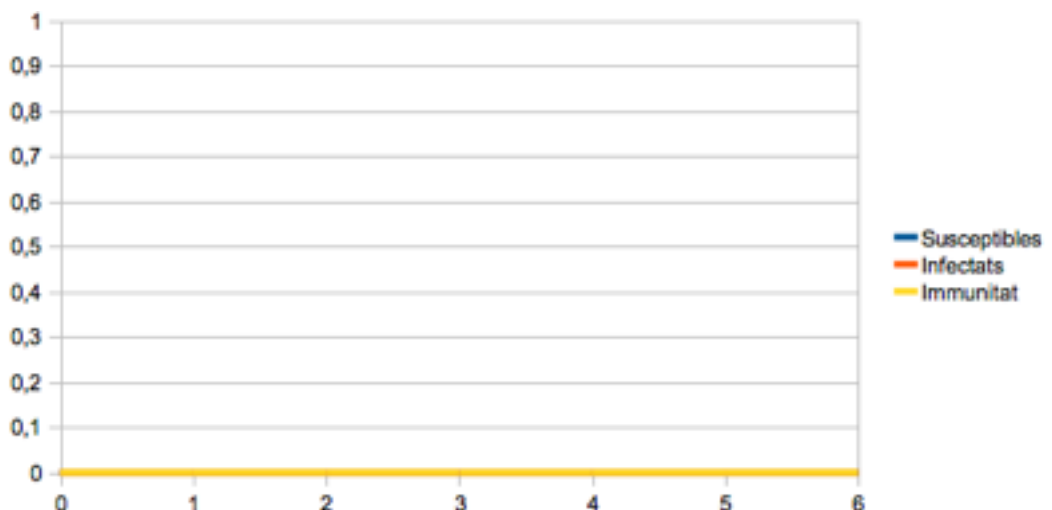
Concentració màxima d'infectats: 6 infectats en la segona transmissió del virus

Concentració mínima de susceptibles: 38 susceptibles en la segona, tercera i quarta transmissió del virus

Concentracions finals de cada estat: 40 susceptibles i 5 immunes

Nombre de transmissions necessàries per eliminar el virus: 7

Gràfic de les classes de la simulació 1:



Resultats a destacar:

Primer infectat: Un professor

Concentració màxima de classes infectades: 0 infectades (totes estan vacunades)

Concentració mínima de classes susceptibles: 0 susceptibles (totes estan vacunades)

Concentracions finals de cada estat: 0 susceptibles i 0 immunes

Nombre de transmissions necessàries per eliminar el virus: 0

Efecte de les vacunacions als professors amb més enllaços del 1r cas de l'efecte de la immunitat

Dades d'interès:

Dia de la realització: 17/8/14

Intents anteriors fallits: 0

Durada de les simulacions: 0 minuts

Nombre total de ticks de la simulació 1: 6.200

Nombre total de ticks de la simulació 2: 4.400

Nombre total de ticks de la simulació 3: 4.000

Nombre total de ticks de la simulació 4: 5.000

Mitjana del nombre total de ticks: 4.900

Mitjana del nombre de transmissions per eliminar el virus (cada 200 ticks es produeix una transmissió, per tant s'ha de dividir la mitjana del nombre de ticks totals per 200): 24,5

Finalitat de les simulacions:

Veure quin és l'efecte de les vacunacions als professors amb més enllaços (més de 9) en el 1r cas de l'efecte de la immunitat en el desenvolupament d'una epidèmia a l'institut, en un model de xarxa de contactes.

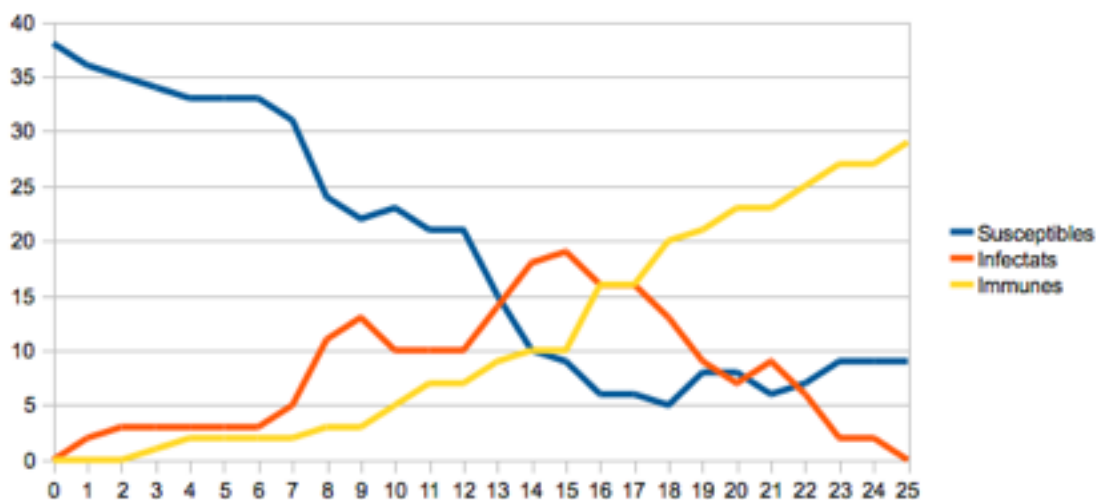
Característiques de l'epidèmia:

Mortalitat: No

Probabilitat de desenvolupar la immunitat: 50%

Infectivitat: 20%

Gràfic dels professors de la simulació 4:



Resultats a destacar:

Primer infectat: Una classe

Nombre inicial de professors vacunats: 7

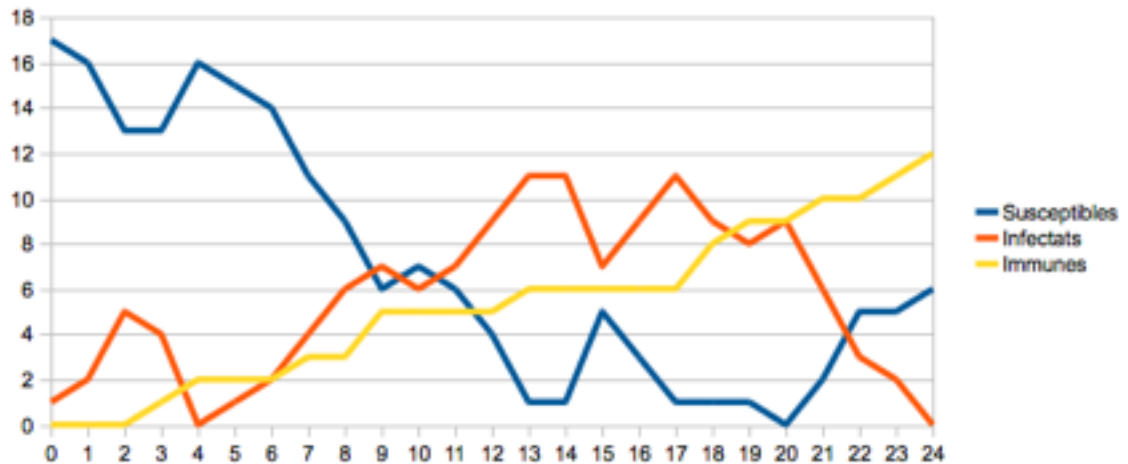
Concentració màxima d'infectats: 19 infectats en la quinzena transmissió del virus

Concentració mínima de susceptibles: 5 susceptibles en la divuitena transmissió del virus

Concentracions finals de cada estat: 9 susceptibles i 29 immunes

Nombre de transmissions necessàries per eliminar el virus: 25

Gràfic de les classes de la simulació 4:



Resultats a destacar:

Primer infectat: Una classe

Concentració màxima de classes infectades: 11 infectades en la tretzena, la catorzena i la dissetena transmissió del virus

Concentració mínima de classes susceptibles: 0 susceptibles en la vintena transmissió del virus

Concentracions finals de cada estat: 6 susceptibles i 12 immunes

Nombre de transmissions necessàries per eliminar el virus: 24

Efectes de les vacunacions a les classes amb més enllaços del 1r cas de l'efecte de la immunitat

Dades d'interès:

Dia de la realització: 17/8/14

Intents anteriors fallits: 0

Durada de les simulacions: 0 minuts

Nombre total de ticks de la simulació 1: 3.200

Nombre total de ticks de la simulació 2: 4.600

Nombre total de ticks de la simulació 3: 4.800

Nombre total de ticks de la simulació 4: 5.000

Mitjana del nombre total de ticks: 4.400

Mitjana del nombre de transmissions per eliminar el virus (cada 200 ticks es produeix una transmissió, per tant s'ha de dividir la mitjana del nombre de ticks totals per 200): 22

Finalitat de les simulacions:

Veure quin és l'efecte de les vacunacions a les classes amb més enllaços (més de 12) en el 1r cas de l'efecte de la immunitat en el desenvolupament d'una epidèmia a l'institut, en un model de xarxa de contactes.

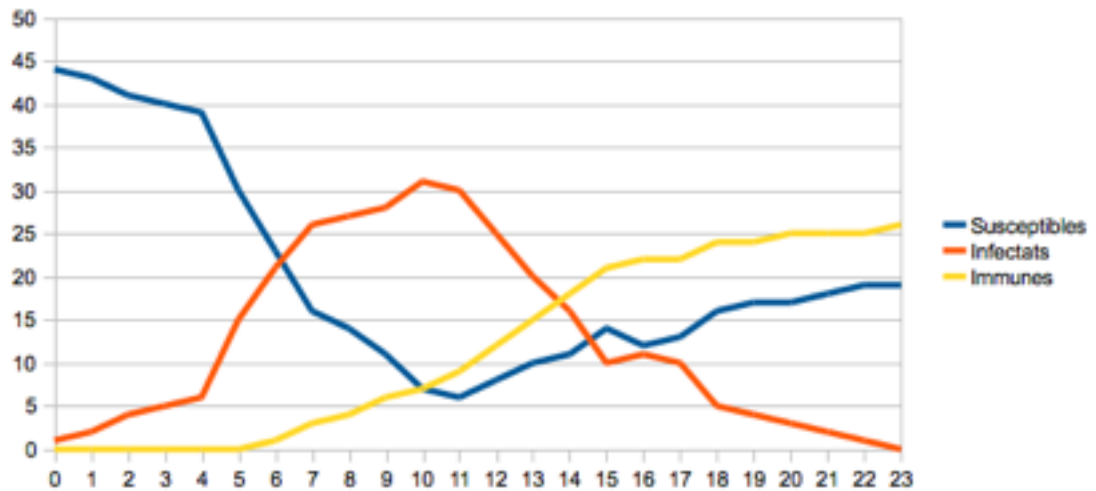
Característiques de l'epidèmia:

Mortalitat: No

Probabilitat de desenvolupar la immunitat: 50%

Infectivitat: 20%

Gràfic dels professors de la simulació 2:



Resultats a destacar:

Primer infectat: Un professor

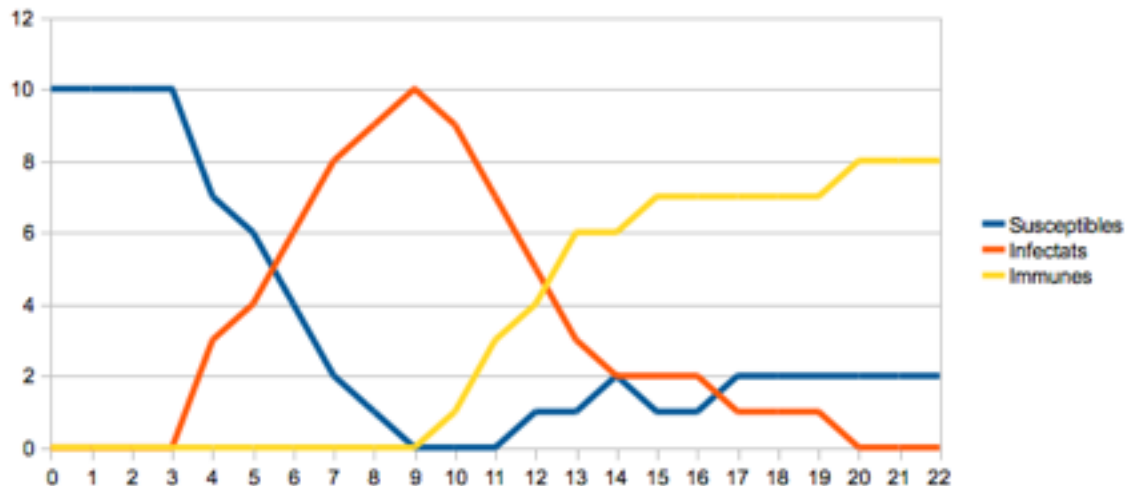
Concentració màxima d'infectats: 31 infectats en la desena transmissió del virus

Concentració mínima de susceptibles: 7 susceptibles en la desena transmissió del virus

Concentracions finals de cada estat: 19 susceptibles i 26 immunes

Nombre de transmissions necessàries per eliminar el virus: 23

Gràfic de les classes de la simulació 2:



Resultats a destacar:

Primer infectat: Un professor

Nombre de classes inicialment vacunades: 8

Concentració màxima de classes infectades: 10 infectades en novena transmissió del virus

Concentració mínima de classes susceptibles: 0 susceptibles en la novena, desena i onzena transmissió del virus

Concentracions finals de cada estat: 2 susceptibles i 8 immunes

Nombre de transmissions necessàries per eliminar el virus: 22

2n cas de les simulacions de l'efecte de la immunitat

Dades d'interès:

Dia de la realització: 17/8/14

Intents anteriors fallits: 0

Durada de les simulacions: 0 minuts

Nombre total de ticks de la simulació 1: 95.800

Nombre total de ticks de la simulació 2: 107.200

Nombre total de ticks de la simulació 3: 92.600

Nombre total de ticks de la simulació 4: 127.600

Mitjana del nombre total de ticks: 105.800

Mitjana del nombre de transmissions per eliminar el virus (cada 200 ticks es produeix una transmissió, per tant s'ha de dividir la mitjana del nombre de ticks totals per 200): 529

Finalitat de les simulacions:

Veure quin és l'efecte del 2n cas de l'efecte de la immunitat en el desenvolupament d'una epidèmia a l'institut, en un model de xarxa de contactes.

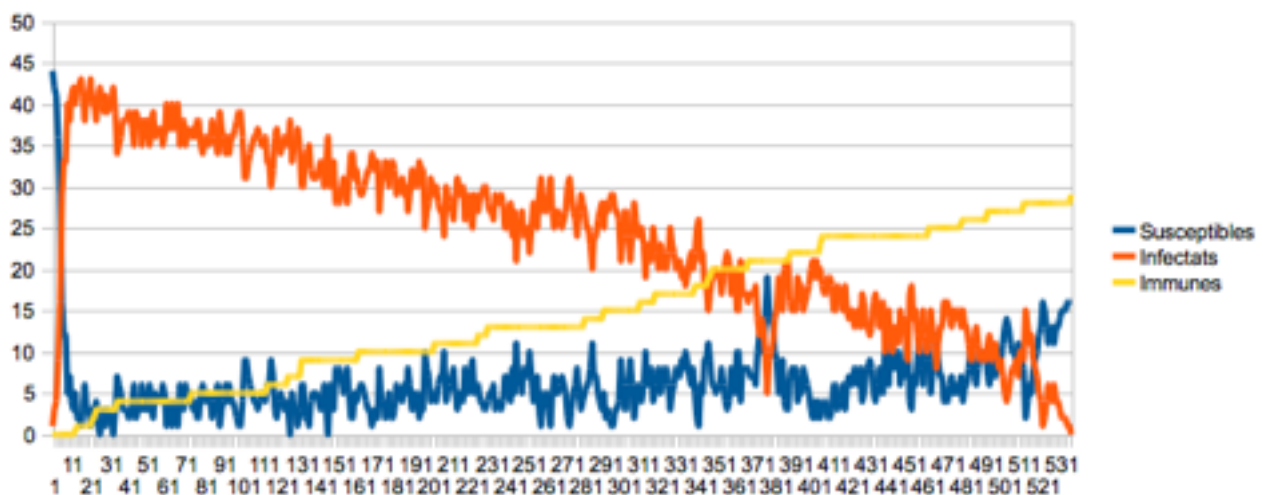
Característiques de l'epidèmia:

Mortalitat: No

Probabilitat de desenvolupar la immunitat: 2%

Infectivitat: 20%

Gràfic dels professors de la simulació 2:



Resultats a destacar:

Primer infectat: Un professor

Evolució de la concentració d'infectats: Creixement molt pronunciat a l'inici, i decreixement lent amb molts alts i baixos durant la gran part de la simulació

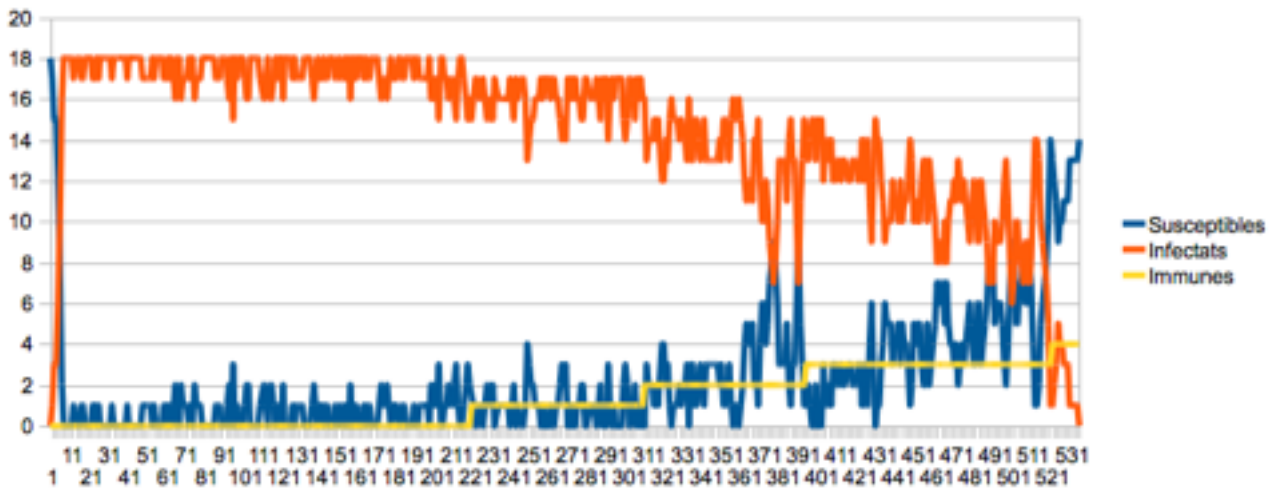
Evolució de la concentració de susceptibles: decreixement molt pronunciat a l'inici, i creixement molt lent amb molts alts i baixos durant la gran part de la simulació

Evolució de la concentració d'immunes: Creixement gradual a partir de la tretzena transmissió del virus

Concentracions finals de cada estat: 16 susceptibles i 29 immunes

Nombre de transmissions necessàries per eliminar el virus: 536

Gràfic de les classes de la simulació 2:



Resultats a destacar:

Primer infectat: Un professor

Evolució de la concentració d'infectats: Creixement molt pronunciat a l'inici, i decreixement lent amb molts alts i baixos durant la gran part de la simulació

Evolució de la concentració de susceptibles: decreixement molt pronunciat a l'inici, i creixement molt lent amb molts alts i baixos durant la gran part de la simulació

Evolució de la concentració d'immunes: Creixement gradual a partir de la transmissió del virus número 219

Concentracions finals de cada estat: 14 susceptibles i 4 immunes

Nombre de transmissions necessàries per eliminar el virus: 535

Efecte de les vacunacions als professors del 2n cas de l'efecte de la immunitat

Dades d'interès:

Dia de la realització: 17/8/14

Intents anteriors fallits: 0

Durada de les simulacions: 0 minuts

Nombre total de ticks de la simulació 1: 600

Nombre total de ticks de la simulació 2: 400

Nombre total de ticks de la simulació 3: 400

Nombre total de ticks de la simulació 4: 400

Mitjana del nombre total de ticks: 450

Mitjana del nombre de transmissions per eliminar el virus (cada 200 ticks es produeix una transmissió, per tant s'ha de dividir la mitjana del nombre de ticks totals per 200): 2,25

Finalitat de les simulacions:

Veure quin és l'efecte de les vacunacions als professors en el 2n cas de l'efecte de la immunitat en el desenvolupament d'una epidèmia a l'institut, en un model de xarxa de contactes.

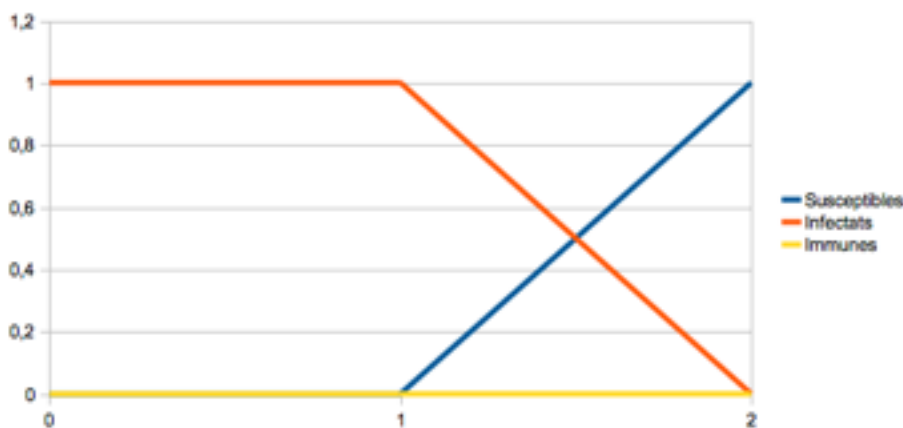
Característiques de l'epidèmia:

Mortalitat: No

Probabilitat de desenvolupar la immunitat: 2%

Infectivitat: 20%

Gràfic dels professors de la simulació 2:



Resultats a destacar:

Primer infectat: Un professor

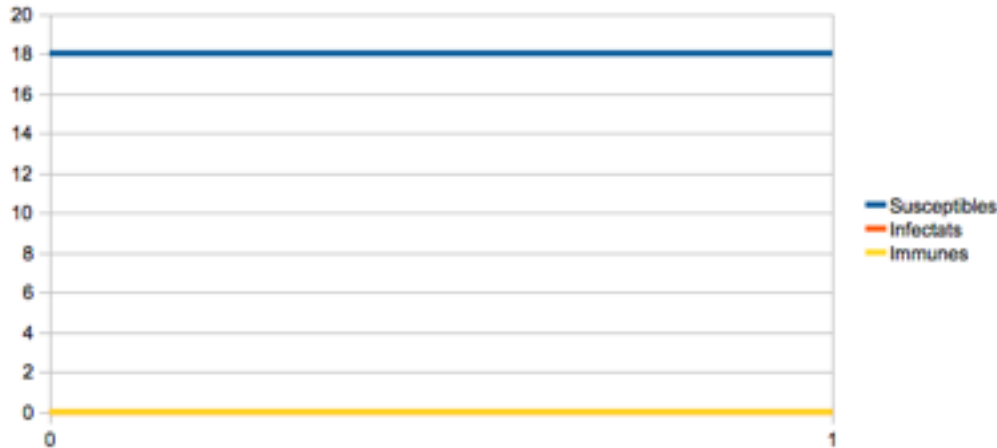
Concentració màxima d'infectats: 1 infectat en la primera transmissió del virus

Concentració mínima de susceptibles: 1 susceptible (el professor infectat passa a ser susceptible directament)

Concentracions finals de cada estat: 1 susceptible i 0 immune

Nombre de transmissions necessàries per eliminar el virus: 2

Gràfic de les classes de la simulació 2:



Resultats a destacar:

Primer infectat: Un professor

Concentració màxima de classes infectades: 0 infectades

Concentració mínima de classes susceptibles: 18 susceptibles

Concentracions finals de cada estat: 18 susceptibles i 0 immunes

Nombre de transmissions necessàries per eliminar el virus: 1

Efecte de les vacunacions a les classes del 2n cas de l'efecte de la immunitat

Dades d'interès:

Dia de la realització: 17/8/14

Intents anteriors fallits: 0

Durada de les simulacions: 0 minuts

Nombre total de ticks de la simulació 1: 600

Nombre total de ticks de la simulació 2: 400

Nombre total de ticks de la simulació 3: 4.200

Nombre total de ticks de la simulació 4: 1.600

Mitjana del nombre total de ticks: 1.700

Mitjana del nombre de transmissions per eliminar el virus (cada 200 ticks es produeix una transmissió, per tant s'ha de dividir la mitjana del nombre de ticks totals per 200): 8,5

Finalitat de les simulacions:

Veure quin és l'efecte de les vacunacions a les classes en el 2n cas de l'efecte de la immunitat en el desenvolupament d'una epidèmia a l'institut, en un model de xarxa de contactes.

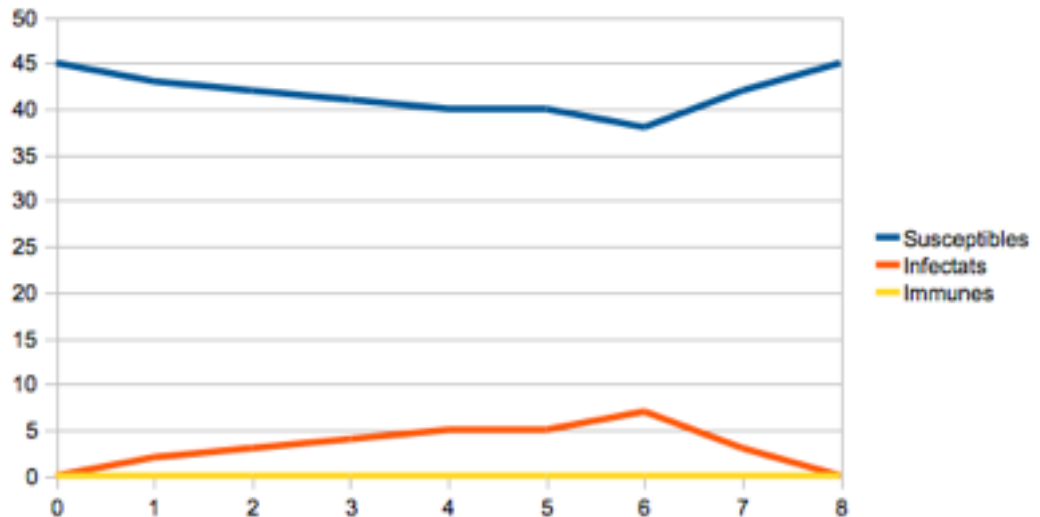
Característiques de l'epidèmia:

Mortalitat: No

Probabilitat de desenvolupar la immunitat: 2%

Infectivitat: 20%

Gràfic dels professors de la simulació 4:



Resultats a destacar:

Primer infectat: Un professor

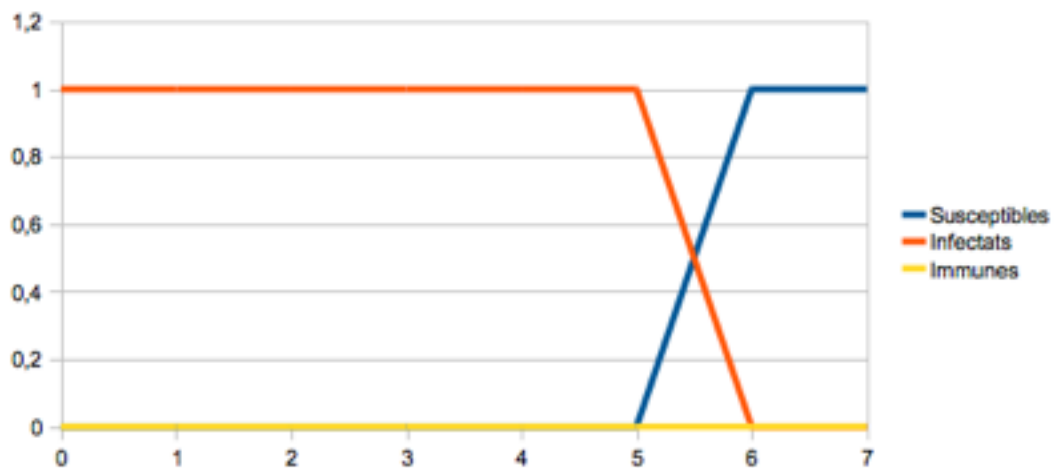
Concentració màxima d'infectats: 7 infectats en la sisena transmissió del virus

Concentració mínima de susceptibles: 38 susceptibles en la sisena transmissió del virus

Concentracions finals de cada estat: 45 susceptibles i 0 immunes

Nombre de transmissions necessàries per eliminar el virus: 8

Gràfic de les classes de la simulació 4:



Resultats a destacar:

Primer infectat: Un professor

Concentració màxima de classes infectades: 1 infectada

Concentració mínima de classes susceptibles: 1 susceptible (la classe infectada inicialment ha passat a ser susceptible directament)

Concentracions finals de cada estat: 1 susceptible i 0 immunes (la resta estan vacunades)

Nombre de transmissions necessàries per eliminar el virus: 6

Efecte de les vacunacions als professors amb més enllaços del 2n cas de l'efecte de la immunitat

Dades d'interès:

Dia de la realització: 17/8/14

Intents anteriors fallits: 0

Durada de les simulacions: 0 minuts

Nombre total de ticks de la simulació 1: 45.200

Nombre total de ticks de la simulació 2: 53.600

Nombre total de ticks de la simulació 3: 29.600

Nombre total de ticks de la simulació 4: 61.400

Mitjana del nombre total de ticks: 47.450

Mitjana del nombre de transmissions per eliminar el virus (cada 200 ticks es produeix una transmissió, per tant s'ha de dividir la mitjana del nombre de ticks totals per 200): 237,25

Finalitat de les simulacions:

Veure quin és l'efecte de les vacunacions als professors amb més enllaços (més de 9) en el 2n cas de l'efecte de la immunitat en el desenvolupament d'una epidèmia a l'institut, en un model de xarxa de contactes.

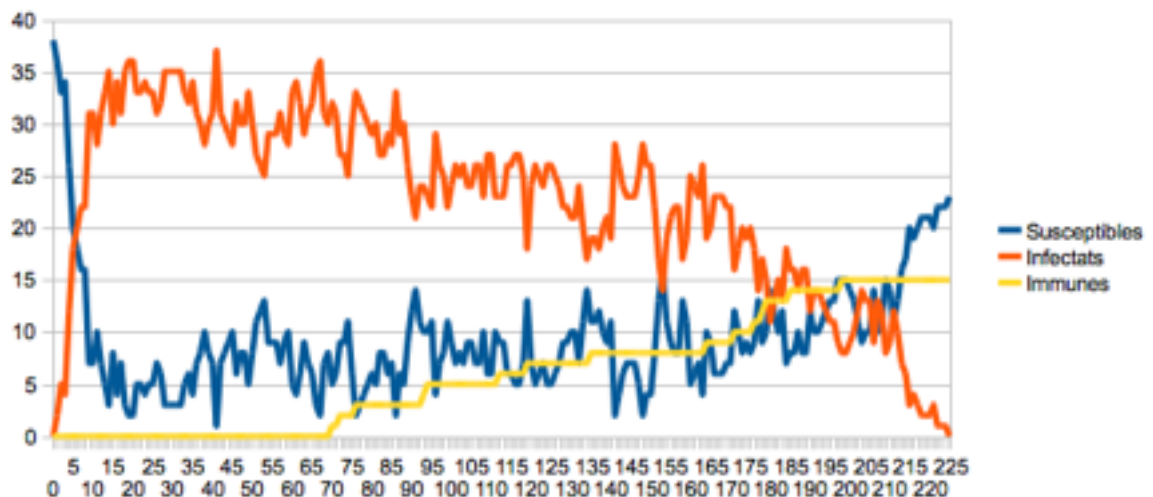
Característiques de l'epidèmia:

Mortalitat: No

Probabilitat de desenvolupar la immunitat: 2%

Infectivitat: 20%

Gràfic dels professors de la simulació 1:



Resultats a destacar:

Primer infectat: Una classe

Nombre de professors vacunats: 7

Evolució de la concentració d'infectats: Creixement molt pronunciat a l'inici, i decreixement lent amb molts alts i baixos durant la gran part de la simulació

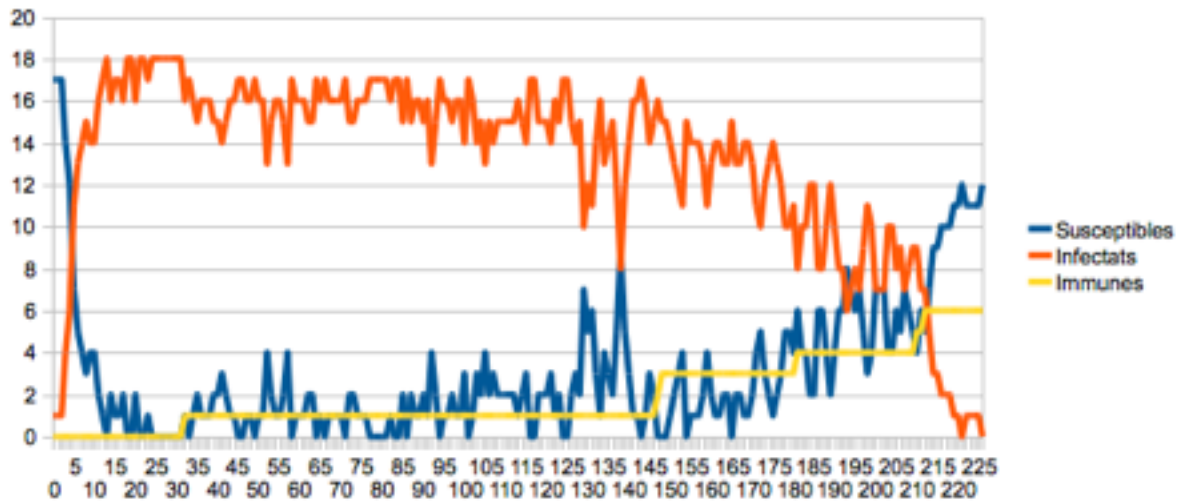
Evolució de la concentració de susceptibles: Decreixement molt pronunciat a l'inici, i creixement molt lent amb molts alts i baixos durant la gran part de la simulació

Evolució de la concentració d'immunes: Creixement gradual a partir de la setantena transmissió del virus

Concentracions finals de cada estat: 23 susceptibles i 15 immunes

Nombre de transmissions necessàries per eliminar el virus: 225

Gràfic de les classes de la simulació 1:



Resultats a destacar:

Primer infectat: Una classe

Evolució de la concentració d'infectats: Creixement molt pronunciat a l'inici, i decreixement lent amb molts alts i baixos durant la gran part de la simulació

Evolució de la concentració de susceptibles: Decreixement molt pronunciat a l'inici, i creixement molt lent amb molts alts i baixos durant la gran part de la simulació

Evolució de la concentració d'immunes: Creixement gradual a partir de la transmissió del virus número 32

Concentracions finals de cada estat: 12 susceptibles i 6 immunes

Nombre de transmissions necessàries per eliminar el virus: 226

Efecte de les vacunacions a les classes amb més enllaços del 2n cas de l'efecte de la immunitat

Comentari:

En aquest cas en concret, en lloc de fer només quatre simulacions, n'he realitzat deu. Això ha estat perquè les primeres tres simulacions m'indiquen que el virus s'elimina molt ràpidament (tarda entre 2 i 4 passos). En canvi, segons la quarta, fan falta 203 transmissions perquè el virus s'elimini. El nombre de ticks de les següents simulacions ha continuat diferint molt. Aquest fet ens

indica que és poc probable que l'epidèmia infecti a molts individus, però que quan els infecta, el virus tarda molt a desaparèixer de la població.

Dades d'interès:

Dia de la realització: 17/8/14

Intents anteriors fallits: 0

Durada de les simulacions: 0 minuts

Nombre total de ticks de la simulació 1: 400

Nombre total de ticks de la simulació 2: 400

Nombre total de ticks de la simulació 3: 800

Nombre total de ticks de la simulació 4: 40.600

Nombre total de ticks de la simulació 5: 19.800

Nombre total de ticks de la simulació 6: 400

Nombre total de ticks de la simulació 7: 400

Nombre total de ticks de la simulació 8: 400

Nombre total de ticks de la simulació 9: 29.600

Nombre total de ticks de la simulació 10: 400

Finalitat de les simulacions:

Veure quin és l'efecte de les vacunacions a les classes amb més enllaços (més de 12) en el 2n cas de l'efecte de la immunitat en el desenvolupament d'una epidèmia a l'institut, en un model de xarxa de contactes.

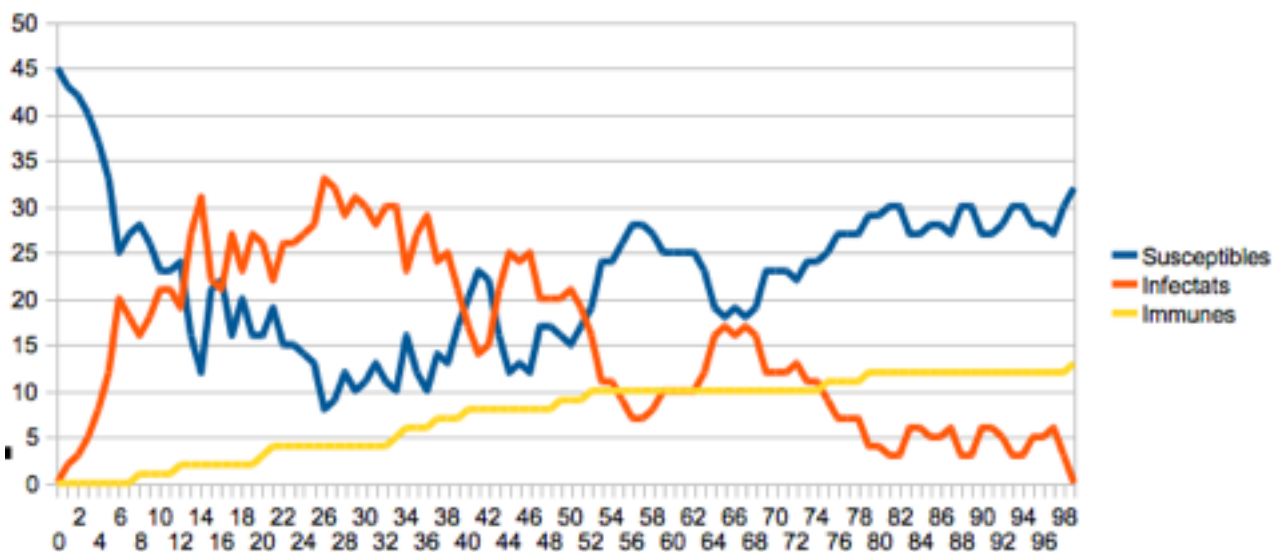
Característiques de l'epidèmia:

Mortalitat: No

Probabilitat de desenvolupar la immunitat: 2%

Infectivitat: 20%

Gràfic dels professors de la simulació 5:



Resultats a destacar:

Primer infectat: Una classe

Evolució de la concentració d'infectats: Creixement força pronunciat a l'inici, fins a arribar a una concentració màxima de 33 infectats, i decreixement lent amb molts alts i baixos durant la gran part de la simulació

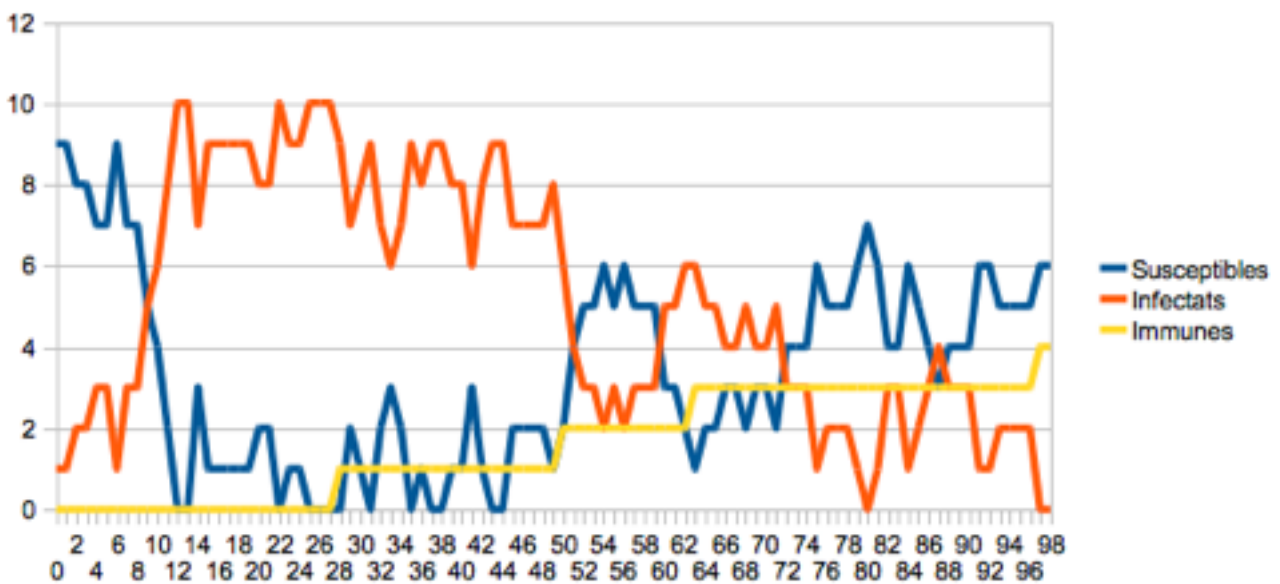
Evolució de la concentració de susceptibles: Decreixement força pronunciat a l'inici, fins a arribar a una concentració mínima de 8 susceptibles, i creixement molt lent amb molts alts i baixos durant la gran part de la simulació

Evolució de la concentració d'immunes: Creixement gradual a partir de la vuitena transmissió del virus

Concentracions finals de cada estat: 32 susceptibles i 13 immunes

Nombre de transmissions necessàries per eliminar el virus: 99

Gràfic de les classes de la simulació 5:



Resultats a destacar:

Primer infectat: Una classe

Nombre de classes vacunades: 8

Evolució de la concentració d'infectats: Creixement força pronunciat a l'inici, fins a arribar a una concentració màxima de 10 classes infectades (les altres 8 estan vacunades), i decreixement lent amb molts alts i baixos durant la gran part de la simulació

Evolució de la concentració de susceptibles: Decreixement molt pronunciat a l'inici, i creixement molt lent amb molts alts i baixos durant la gran part de la simulació

Evolució de la concentració d'immunes: Creixement gradual a partir de la transmissió del virus número 28

Concentracions finals de cada estat: 6 susceptibles i 4 immunes

Nombre de transmissions necessàries per eliminar el virus: 98

Aspectes destacables del 1r i el 2n cas de l'efecte de la immunitat

En el 1r cas tant els professors com els alumnes, un cop han passat el virus tenen un 50% de probabilitats d'adquirir la immunitat. Per tant, dels individus que s'infecten, només la meitat tornaran a ser susceptibles i es podran tornar a infectar. Això fa que el creixement dels immunes sigui molt ràpid i que com a conseqüència, al final als infectats se'ls hi redueixin molt les opcions de transmissió del virus. Per això, la mitjana del nombre de transmissions necessàries perquè el virus desaparegui és de 31,75, molt per sota de la mitjana del 2n cas. En aquest, com que de cada 100 agents que es recuperen, 98 esdevenen un altre cop susceptibles i només 2 adquireixen la immunitat, a l'inici els infectats creixen molt i es mantenen en una concentració molt alta, per la continuada presència de susceptibles. No és fins després de moltes transmissions del virus i moltes recuperacions, que els nodes immunes ja es comencen a fer notar. Aleshores els infectats es troben en la mateixa situació que en el primer cas, i el virus acaba desapareixent després d'una mitjana de 529 transmissions.

Aspectes destacables de l'efecte de les vacunacions en els casos amb immunitat

Quan vacunem a tots els professors o a totes les classes, s'aconsegueix que el virus s'elimini gairebé a l'instant. Si mirem les dades, la mitjana del nombre de transmissions necessàries per a la seva desaparició passa de 31,75 a 3 i de 529 a 2,25, en el cas de vacunar els professors.

Si decidim vacunar les classes, tot i tenir més enllaços, els nombres es redueixen un pèl menys. En lloc de 3, la mitjana és de 3,75, i en lloc de 2,25, la mitjana és de 8,5. Això fa que les concentracions màximes de professors infectats siguin de 6 i de 7, però en cap cas de 35, com passa en l'escenari sense vacunacions.

Si només es vacunen els 7 professors amb més de 9 enllaços, no s'aconsegueix eliminar tan ràpidament el virus, però també s'observa una millora en el nombre de transmissions, ja que la mitjana passa a ser de 24,5. Un fet destacable és la concentració màxima de classes infectades, que també disminueix i passa de 16 a 11. Observant el 2n cas, els efectes són fins i tot millors, ja que el nombre de transmissions es redueix més de la meitat, passant de 529 a 237,25.

Pel que fa a la vacunació de les 8 classes amb més de 12 enllaços, en el 1r cas l'efecte és molt similar, ja que la mitjana de transmissions passa a ser de 22. Però en el 2n cas de l'efecte de la immunitat s'observa un fenomen una mica estrany, perquè els nombres totals de ticks de les simulacions efectuades difereixen molt entre si, tot i que en set simulacions no se superen els 800 ticks, les altres tres presenten nombres molt alts, com són 40.600 ticks, 19.800 ticks i 29.600 ticks. Aquest fet ens indica que és poc probable que l'epidèmia infecti a molts individus, però que quan els infecta, el virus tarda molt a desaparèixer de la població.

En general hem vist que realitzar vacunacions a un grup de la població pot accelerar la desaparició d'una epidèmia i fins i tot impedir la seva propagació des d'un inici.

4.5.1.2 L'efecte de la infectivitat analitzat amb el «*Model 2*»

En aquest següent conjunt de simulacions analitzo quin és l'efecte de les vacunacions en dos casos sense immunitat ni mortalitat.

En el primer cas, la infectivitat és del 50%. Això vol dir que a cada transmissió del virus, la meitat dels nodes enllaçats amb un d'infectat entren també en aquest nou estat.

En el segon cas he situat la infectivitat al 15%, perquè amb un 10% és molt difícil que el virus es transmeti en aquest model, però amb un 20% es propaga sense massa problemes, com ja hem observat en les simulacions de l'efecte de la immunitat. I com que la meua intenció és que el virus pugui tenir dificultats per transmetre's, però que en la majoria dels casos no sigui pràcticament inevitable la seva desaparició instantània, he considerat que un 15% pot ser un valor adequat.

Com que moltes d'aquestes simulacions tendeixen a estabilitzar-se i a esdevenir casos endèmics, he posat un límit de 250.000 ticks a cada simulació. Així doncs, quan s'assoleix aquest nombre, el model s'atura.

1r cas de l'efecte de la infectivitat

Comentari:

En aquest cas no té sentit realitzar quatre simulacions, perquè el desenvolupament de l'epidèmia seria el mateix en totes.

Dades d'interès:

Dia de la realització: 17/8/14

Intents anteriors fallits: 0

Durada de les simulacions: 0 minuts

Nombre total de ticks: 250.000

Finalitat de les simulacions:

Veure quin és l'efecte de situar al 50% la infectivitat en el desenvolupament d'una epidèmia a l'institut, en un model de xarxa de contactes.

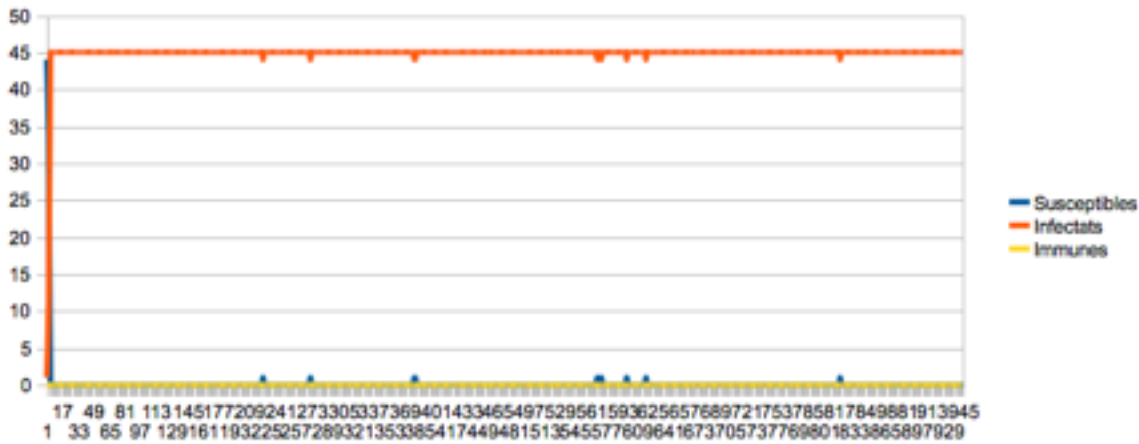
Característiques de l'epidèmia:

Mortalitat: No

Probabilitat de desenvolupar la immunitat: 0%

Infectivitat: 50%

Gràfic dels professors:



Resultats a destacar:

Primer infectat: Un professor

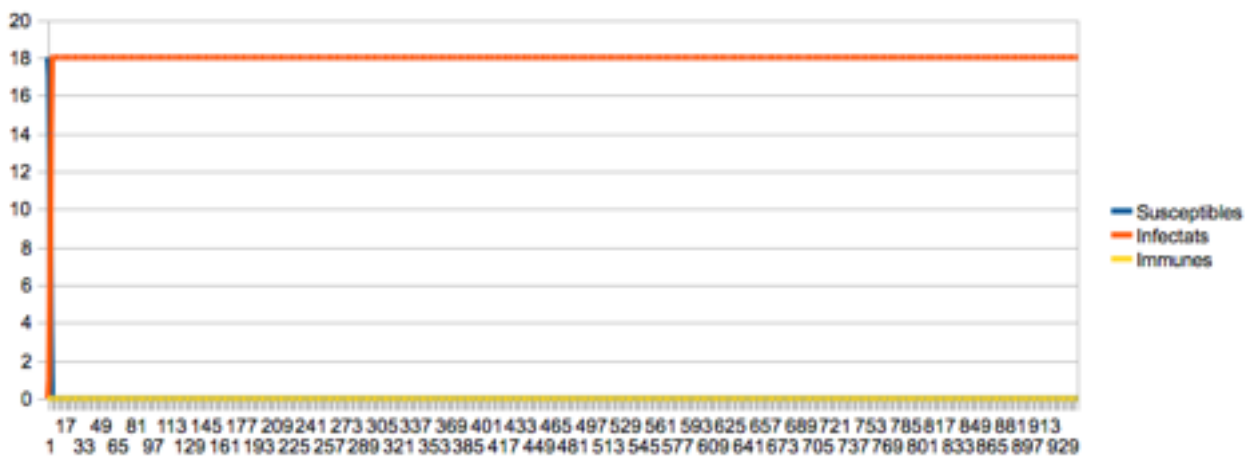
Concentració màxima d'infectats: 45 infectats a partir de la quarta transmissió del virus

Concentració mínima de susceptibles: 0 susceptibles a partir de la quarta transmissió del virus

Evolució de la concentració d'infectats: En quatre transmissions s'infecten tots els professors, que es queden en aquest estat per sempre. El virus esdevé endèmic.

Concentracions finals de cada estat: 45 infectats

Gràfic de les classes:



Resultats a destacar:

Primer infectat: Un professor

Concentració màxima de classes infectades: 18 infectades a partir de la quarta transmissió del virus

Concentració mínima de classes susceptibles: 0 susceptibles a partir de la quarta transmissió del virus

Evolució de la concentració d'infectats: En quatre transmissions s'infecten totes les classes, que es queden en aquest estat per sempre. El virus esdevé endèmic.

Concentracions finals de cada estat: 18 classes infectades

Efecte de les vacunacions als professors del 1r cas de l'efecte de la infectivitat

Dades d'interès:

Dia de la realització: 17/8/14

Intents anteriors fallits: 0

Durada de les simulacions: 0 minuts

Nombre total de ticks de la simulació 1: 13.000

Nombre total de ticks de la simulació 2: 14.200

Nombre total de ticks de la simulació 3: 8.800

Nombre total de ticks de la simulació 4: 400

Mitjana del nombre total de ticks: 9.100

Mitjana del nombre de transmissions per eliminar el virus (cada 200 ticks es produeix una transmissió, per tant s'ha de dividir la mitjana del nombre de ticks totals per 200): 45,5

Finalitat de les simulacions:

Veure quin és l'efecte de les vacunacions als professors 1r cas de l'efecte de la infectivitat en el desenvolupament d'una epidèmia a l'institut, en un model de xarxa de contactes.

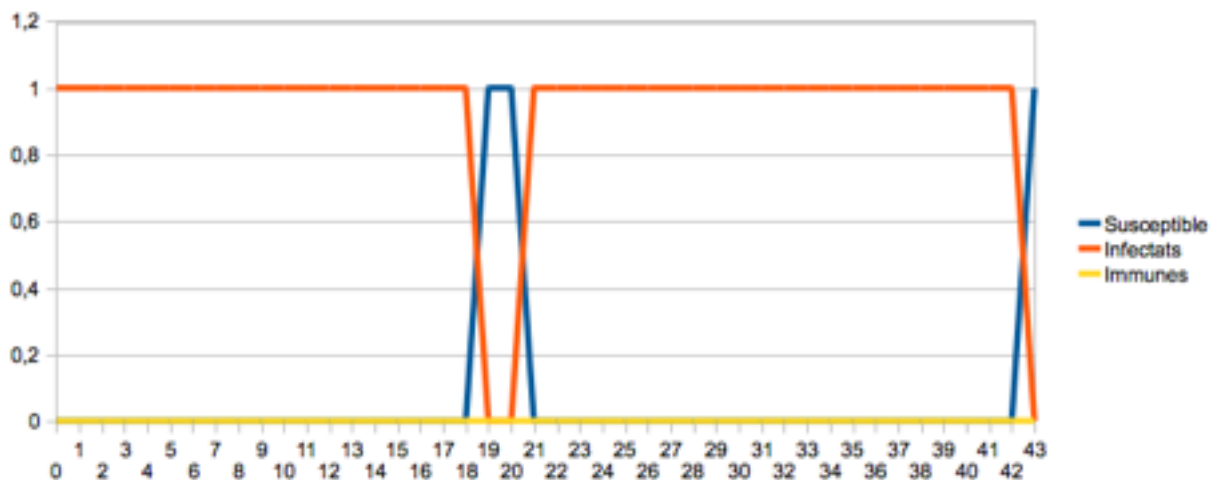
Característiques de l'epidèmia:

Mortalitat: No

Probabilitat de desenvolupar la immunitat: 0%

Infectivitat: 50%

Gràfic dels professors de la simulació 3:



Resultats a destacar:

Primer infectat: Un professor

Concentració màxima d'infectats: 1 infectat (tota la resta estan vacunats)

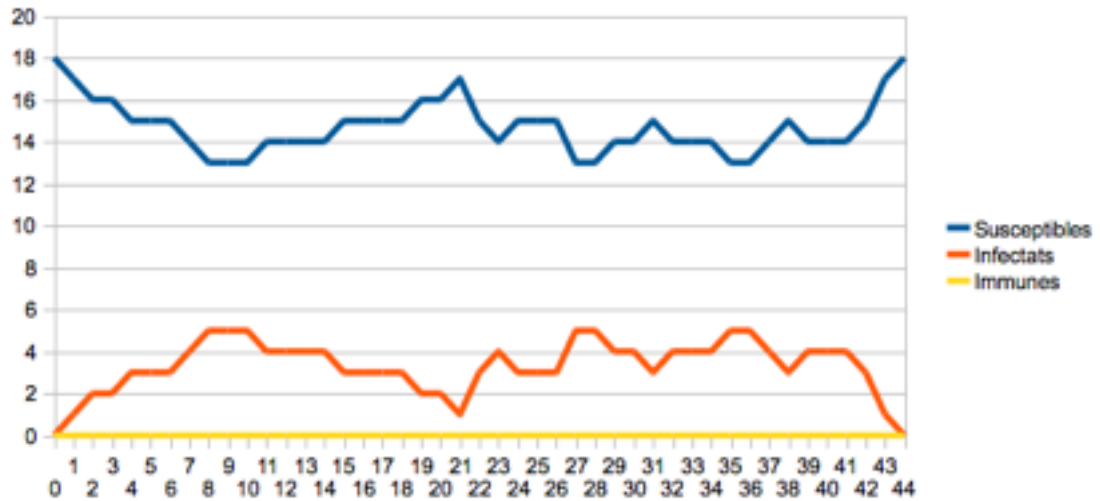
Concentració mínima de susceptibles: 0 susceptibles (estan tots vacunats)

Evolució de la concentració d'infectats: L'infectat inicial passa a ser susceptible en la dinovena transmissió del virus, però de seguida es torna a infectar i no és fins a la transmissió número 43 que no torna a esdevenir susceptible.

Concentracions finals de cada estat: 1 susceptible i 0 infectats.

Nombre de transmissions necessàries per eliminar el virus: 43

Gràfic de les classes de la simulació 3:



Resultats a destacar:

Primer infectat: Un professor

Concentració màxima de classes infectades: 5 infectades durant molts punts de la simulació

Concentració mínima de classes susceptibles: 13 susceptibles durant molts punts de la simulació

Concentracions finals de cada estat: 18 classes susceptibles i 0 infectades

Nombre de transmissions necessàries per eliminar el virus: 44

Efecte de les vacunacions a les classes del 1r cas de l'efecte de la infectivitat

Comentari:

En aquest cas he observat un fenomen que m'ha cridat l'atenció. Si el primer node infectat és un professor, el virus acaba desapareixent, perquè només es pot transmetre entre els professors del seu mateix departament. En canvi, si el primer node infectat és una classe, el virus mai desapareix i esdevé endèmic, perquè aleshores sí que es pot propagar per diversos departaments.

Dades d'interès:

Dia de la realització: 17/8/14

Intents anteriors fallits: 0

Durada de les simulacions: 0 minuts

Nombre total de ticks de la simulació 1: 250.000

(el primer node infectat és una classe)

Nombre total de ticks de la simulació 2: 36.200

Nombre total de ticks de la simulació 3: 12.800

Desenvolupament de dos models basats en agents

Nombre total de ticks de la simulació 4: 250.00 (el primer node infectat és una classe)

Mitjana del nombre total de ticks de les simulacions en què el primer node infectat és un professor:
24.500

Mitjana del nombre de transmissions per eliminar el virus si el primer node infectat és un professor (cada 200 ticks es produeix una transmissió, per tant s'ha de dividir la mitjana del nombre de ticks totals per 200): 122,5

Finalitat de les simulacions:

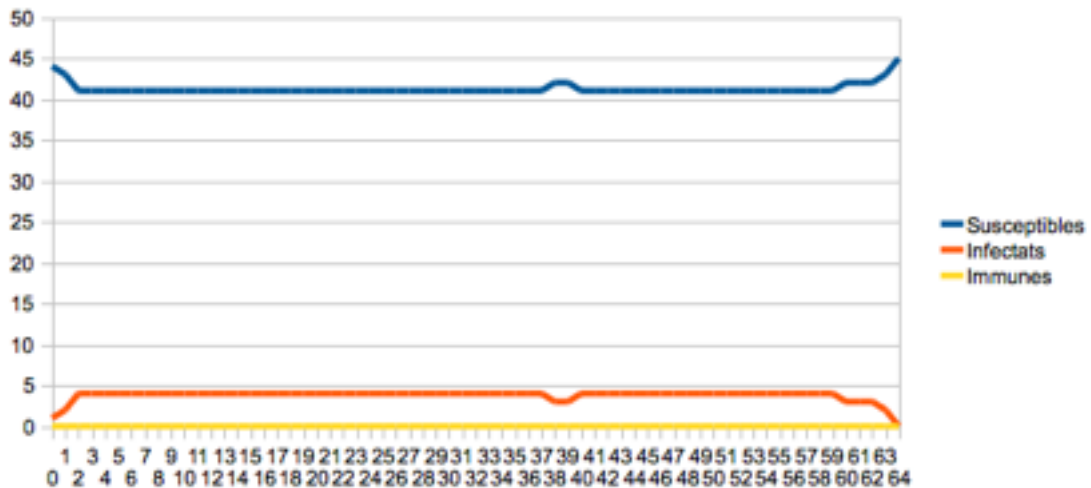
Veure quin és l'efecte de les vacunacions a les classes del 1r cas de l'efecte de la infectivitat en el desenvolupament d'una epidèmia a l'institut, en un model de xarxa de contactes.

Característiques de l'epidèmia:

Mortalitat: No Probabilitat de desenvolupar la immunitat: 0%

Infectivitat: 50%

Gràfic dels professors de la simulació 3:



Resultats a destacar:

Primer infectat: Un professor

Concentració màxima d'infectats: 4 infectats (professors d'un mateix departament)

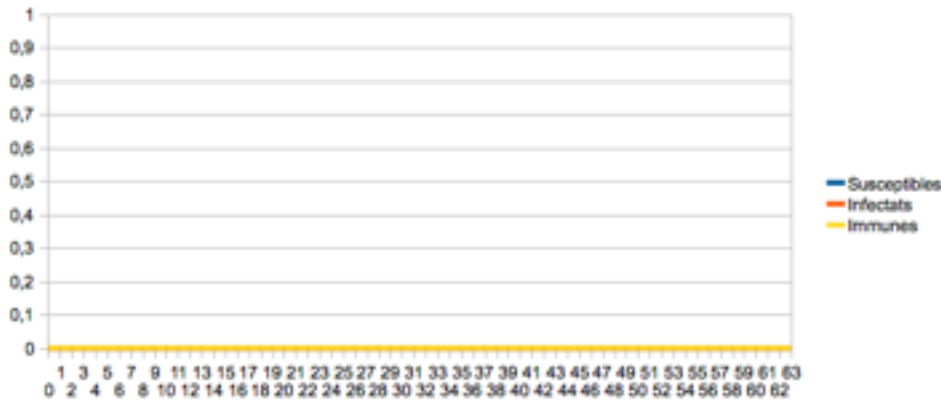
Concentració mínima de susceptibles: 41 susceptibles

Evolució de la concentració d'infectats: Pràcticament durant tota la simulació tots els professors d'un mateix departament estan infectats, fins que a partir de la transmissió 60 comencen a disminuir.

Concentracions finals de cada estat: 45 susceptible i 0 infectats.

Nombre de transmissions necessàries per eliminar el virus: 64

Gràfic de les classes de la simulació 3:



Resultats a destacar:

Primer infectat: Un professor

Concentració màxima de classes infectades: 0 (totes estan vacunades)

Concentració mínima de classes susceptibles: 0 (totes estan vacunades)

Concentracions finals de cada estat: 0 classes susceptibles i 0 infectades (totes estan vacunades)

Nombre de transmissions necessàries per eliminar el virus: 0

Efecte de les vacunacions als professors amb més enllaços del 1r cas de l'efecte de la infectivitat

Dades d'interès:

Dia de la realització: 17/8/14

Intents anteriors fallits: 0

Durada de les simulacions: 0 minuts

Nombre total de ticks de totes les simulacions: 250.000

Finalitat de les simulacions:

Veure quin és l'efecte de les vacunacions als professors amb més de 9 enllaços del 1r cas de l'efecte de la infectivitat en el desenvolupament d'una epidèmia a l'institut, en un model de xarxa de contactes.

Característiques de l'epidèmia:

Mortalitat: No

Probabilitat de desenvolupar la immunitat: 0%

Infectivitat: 50%

Comentari:

En aquest cas, després de realitzar unes quantes simulacions, he pogut constatar que vacunar els professors amb més enllaços no té cap efecte sobre el desenvolupament de l'epidèmia. És per això que no he considerat necessària l'exposició dels gràfics ni dels resultats.

Efecte de les vacunacions a les classes amb més enllaços del 1r cas de l'efecte de la infectivitat

Dades d'interès:

Dia de la realització: 17/8/14

Intents anteriors fallits: 0

Durada de les simulacions: 0 minuts

Nombre total de ticks de totes les simulacions: 250.000

Finalitat de les simulacions:

Veure quin és l'efecte de les vacunacions a les classes amb més de 12 enllaços del 1r cas de l'efecte de la infectivitat en el desenvolupament d'una epidèmia a l'institut, en un model de xarxa de contactes.

Característiques de l'epidèmia:

Mortalitat: No

Probabilitat de desenvolupar la immunitat: 0%

Infectivitat: 50%

Comentari:

En aquest cas, després de realitzar unes quantes simulacions, he pogut constatar que vacunar les classes amb més enllaços, de la mateixa manera que en l'anterior cas, no té cap efecte sobre el desenvolupament de l'epidèmia. És per això que no he considerat necessària l'exposició dels gràfics ni dels resultats.

2n cas de l'efecte de la infectivitat

Comentari:

En aquest cas, a causa de la baixa infectivitat, als primers nodes infectats els és molt costós transmetre el virus, però un cop ho aconsegueixen, aquest esdevé endèmic. És per això que algunes simulacions tenen només 600 ticks i en canvi altres arriben al límit de 250.000 ticks.

Dades d'interès:

Dia de la realització: 17/8/14

Intents anteriors fallits: 0

Durada de les simulacions: 0 minuts

Nombre total de ticks de la simulació 1: 800

Nombre total de ticks de la simulació 2: 600

Nombre total de ticks de la simulació 3: 600

Nombre total de ticks de la simulació 4: 250.000

Finalitat de les simulacions:

Veure quin és l'efecte de la infectivitat situada al 15% en el desenvolupament d'una epidèmia a l'institut, en un model de xarxa de contactes.

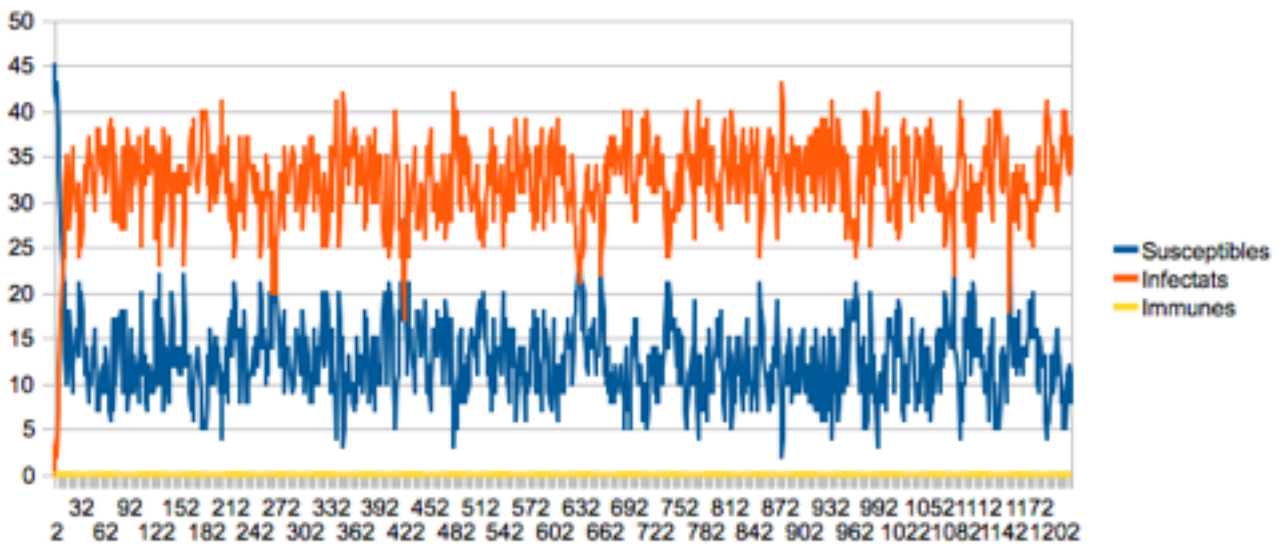
Característiques de l'epidèmia:

Mortalitat: No

Probabilitat de desenvolupar la immunitat: 0%

Infectivitat: 50%

Gràfic dels professors de la simulació 4:



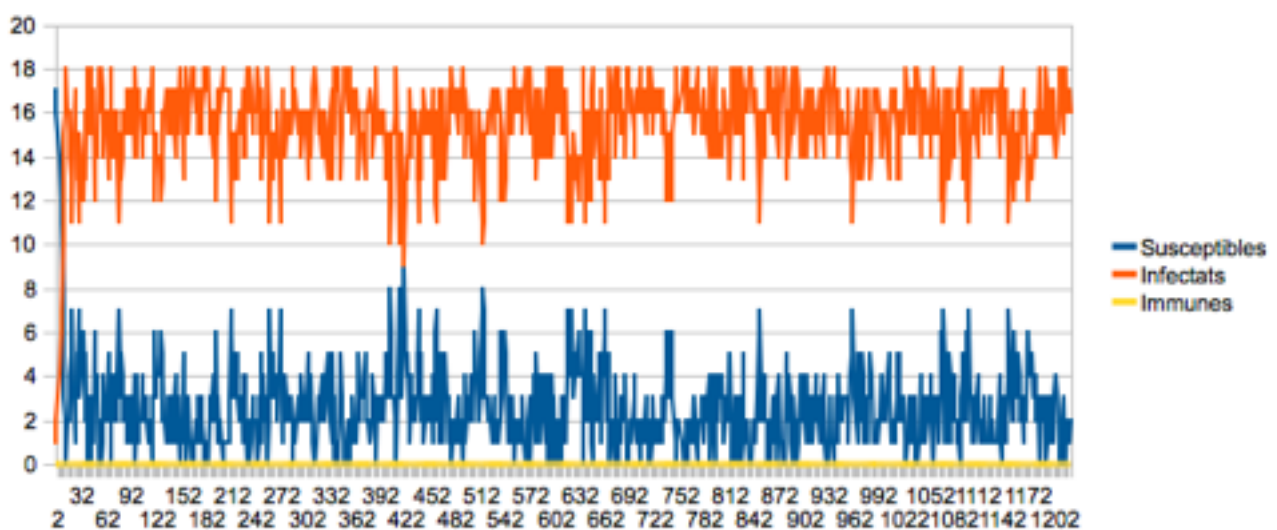
Resultats a destacar:

Primer infectat: Una classe

Evolució de la concentració d'infectats: Creixement molt pronunciat a l'inici, fins que, tot i els alts i baixos constants, s'estabilitza en unes concentracions d'entre 25 i 40 infectats. Aquesta estabilitat fa que el virus esdevingui endèmic.

Evolució de la concentració de susceptibles: Decreixement molt pronunciat a l'inici, fins que, tot i els alts i baixos, també s'estabilitza en unes concentracions d'entre els 10 i 20 infectats.

Gràfic de les classes de la simulació 4:



Resultats a destacar:

Primer infectat: Una classe

Evolució de la concentració d'infectats: Creixement molt pronunciat a l'inici, fins que, tot i els alts i baixos constants, s'estabilitza en unes concentracions d'entre les 12 i les 18 classes infectades aproximadament. Aquesta estabilitat fa que el virus esdevingui endèmic.

Evolució de la concentració de susceptibles: Decreixement molt pronunciat a l'inici, fins que, tot i els alts i baixos, també s'estabilitza en unes concentracions d'entre les 6 i les 0 classes susceptibles aproximadament.

Efecte de les vacunacions als professors del 2n cas de l'efecte de la infectivitat

Dades d'interès:

Dia de la realització: 18/8/14

Intents anteriors fallits: 0

Durada de les simulacions: 0 minuts

Nombre total de ticks de la simulació 1: 800

Nombre total de ticks de la simulació 2: 400

Nombre total de ticks de la simulació 3: 1.000

Nombre total de ticks de la simulació 4: 400

Mitjana del nombre total de ticks: 650

Mitjana del nombre de transmissions per eliminar el virus (cada 200 ticks es produeix una transmissió, per tant s'ha de dividir la mitjana del nombre de ticks totals per 200): 3,25

Finalitat de les simulacions:

Veure quin és l'efecte de les vacunacions als professors en el 2n cas de l'efecte de la infectivitat en el desenvolupament d'una epidèmia a l'institut, en un model de xarxa de contactes.

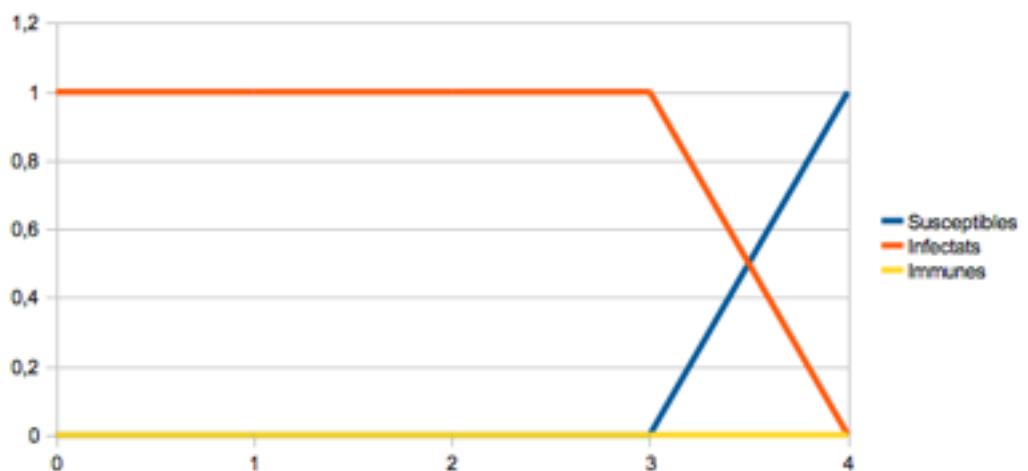
Característiques de l'epidèmia:

Mortalitat: No

Probabilitat de desenvolupar la immunitat: 0%

Infectivitat: 15%

Gràfic dels professors de la simulació 1:



Resultats a destacar:

Primer infectat: Un professor

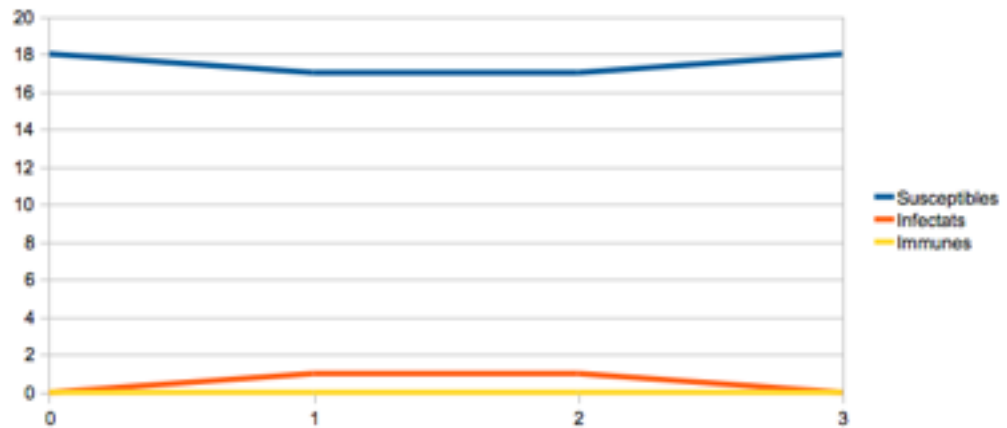
Concentració màxima d'infectats: 1 infectats (tota la resta estan vacunats)

Concentració mínima de susceptibles: 0 susceptibles (tots menys el professor infectat estan vacunats)

Concentracions finals de cada estat: 1 susceptible i 0 infectats

Nombre de transmissions necessàries per eliminar el virus: 4

Gràfic de les classes de la simulació 1:



Resultats a destacar:

Primer infectat: Un professor

Concentració màxima de classes infectades: 1 infectada

Concentració mínima de classes susceptibles: 17 susceptibles

Concentracions finals de cada estat: 18 susceptibles i 0 infectades

Nombre de transmissions necessàries per eliminar el virus: 3

Efecte de les vacunacions a les classes del 2n cas de l'efecte de la infectivitat

Dades d'interès:

Dia de la realització: 18/8/14

Intents anteriors fallits: 0

Durada de les simulacions: 0 minuts

Nombre total de ticks de la simulació 1: 800

Nombre total de ticks de la simulació 2: 400

Nombre total de ticks de la simulació 3: 400

Nombre total de ticks de la simulació 4: 400

Mitjana del nombre total de ticks: 500

Mitjana del nombre de transmissions per eliminar el virus (cada 200 ticks es produeix una transmissió, per tant s'ha de dividir la mitjana del nombre de ticks totals per 200): 2,5

Finalitat de les simulacions:

Veure quin és l'efecte de les vacunacions a les classes en el 2n cas de l'efecte de la infectivitat en el desenvolupament d'una epidèmia a l'institut, en un model de xarxa de contactes.

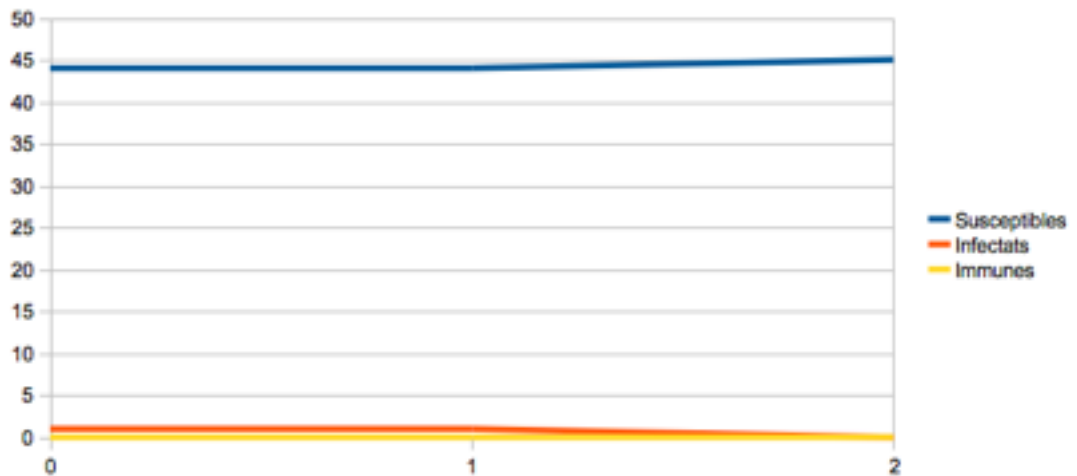
Característiques de l'epidèmia:

Mortalitat: No

Probabilitat de desenvolupar la immunitat: 0%

Infectivitat: 15%

Gràfic dels professors de la simulació 2:



Resultats a destacar:

Primer infectat: Un professor

Concentració màxima d'infectats: 1 infectat (l'inicial)

Concentració mínima de susceptibles: 44 susceptibles

Concentracions finals de cada estat: 45 susceptible i 0 infectats

Nombre de transmissions necessàries per eliminar el virus: 2

Gràfic de les classes de la simulació 2:



Resultats a destacar:

Primer infectat: Un professor

Concentració màxima de classes infectades: 0 infectades (totes estan vacunades)

Concentració mínima de classes susceptibles: 0 susceptibles (totes estan vacunades)

Concentracions finals de cada estat: 0 susceptibles i 0 infectades

Nombre de transmissions necessàries per eliminar el virus: 0

Efecte de les vacunacions als professors amb més enllaços del 2n cas de l'efecte de la infectivitat

Dades d'interès:

Dia de la realització: 18/8/14

Intents anteriors fallits: 0

Durada de les simulacions: 0 minuts

Nombre total de ticks de la simulació 1: 600

Nombre total de ticks de la simulació 2: 250.000

Nombre total de ticks de la simulació 3: 250.000

Nombre total de ticks de la simulació 4: 800

Finalitat de les simulacions:

Veure quin és l'efecte de les vacunacions als professors amb més de 9 enllaços en el 2n cas de l'efecte de la infectivitat en el desenvolupament d'una epidèmia a l'institut, en un model de xarxa de contactes.

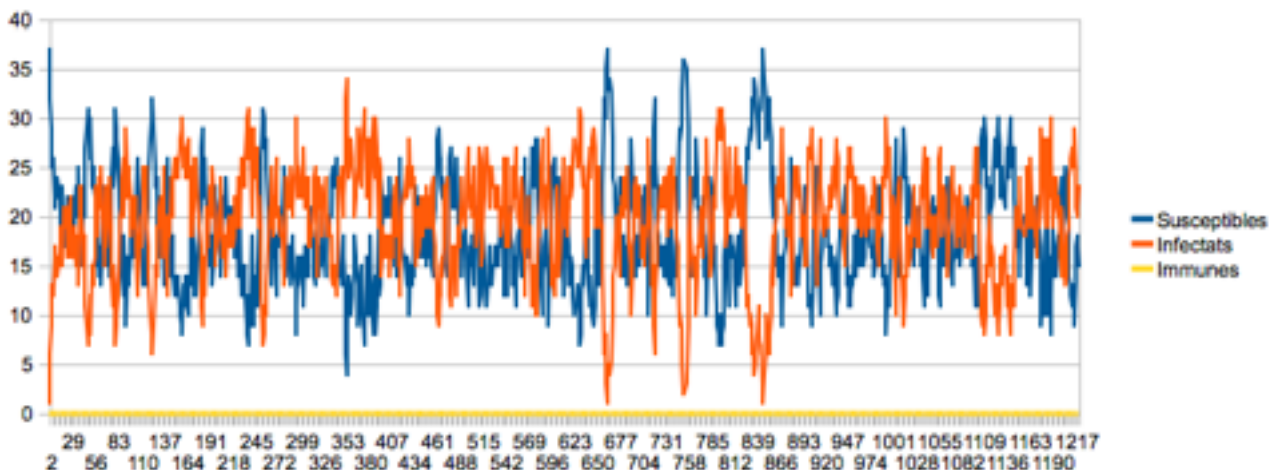
Característiques de l'epidèmia:

Mortalitat: No

Probabilitat de desenvolupar la immunitat: 0%

Infectivitat: 15%

Gràfic dels professors de la simulació 2:



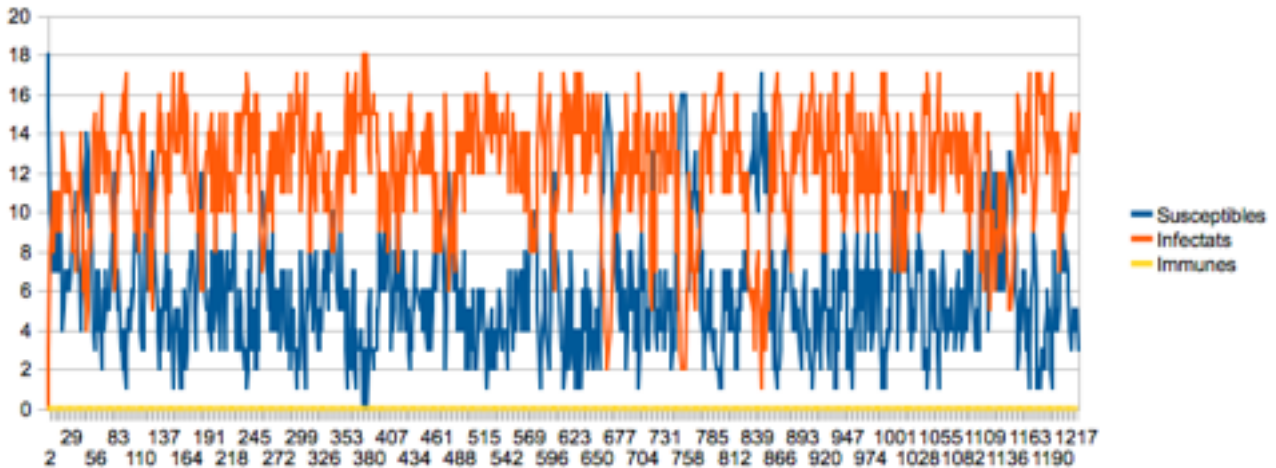
Resultats a destacar:

Primer infectat: Un professor

Nombre de professors vacunats: 7

Evolució de la concentració d'infectats: Creixement molt pronunciat a l'inici. Durant tota la simulació, la concentració varia molt. Hi ha moments en què és molt alta, i moments en què tot sembla apuntar que el virus acabarà desapareixent, però com que les dues franges són simètriques, quan una decreix molt, l'altra augmenta. Com a conseqüència hi ha més susceptibles i el virus té més opcions a l'hora de transmetre's, i no s'elimina de la població. Així doncs ens trobem amb un cas d'un virus endèmic.

Gràfic de les classes de la simulació 2:



Resultats a destacar:

Primer infectat: Un professor

Nombre de professors vacunats: 7

Evolució de la concentració de classes infectades: Presenten una evolució molt similar a la dels professors. L'única diferència és que a l'inici, la concentració creix més ràpidament i es manté al voltant de valors més alts, com a conseqüència de la no presència de classes vacunades.

Efecte de les vacunacions a les classes amb més enllaços del 2n cas de l'efecte de la infectivitat

Dades d'interès:

Dia de la realització: 18/8/14

Intents anteriors fallits: 0

Durada de les simulacions: 0 minuts

Nombre total de ticks de la simulació 1: 34.800

Nombre total de ticks de la simulació 2: 600

Nombre total de ticks de la simulació 3: 400

Nombre total de ticks de la simulació 4: 800

Finalitat de les simulacions:

Veure quin és l'efecte de les vacunacions a les classes amb més de 12 enllaços en el 2n cas de l'efecte de la infectivitat en el desenvolupament d'una epidèmia a l'institut, en un model de xarxa de contactes.

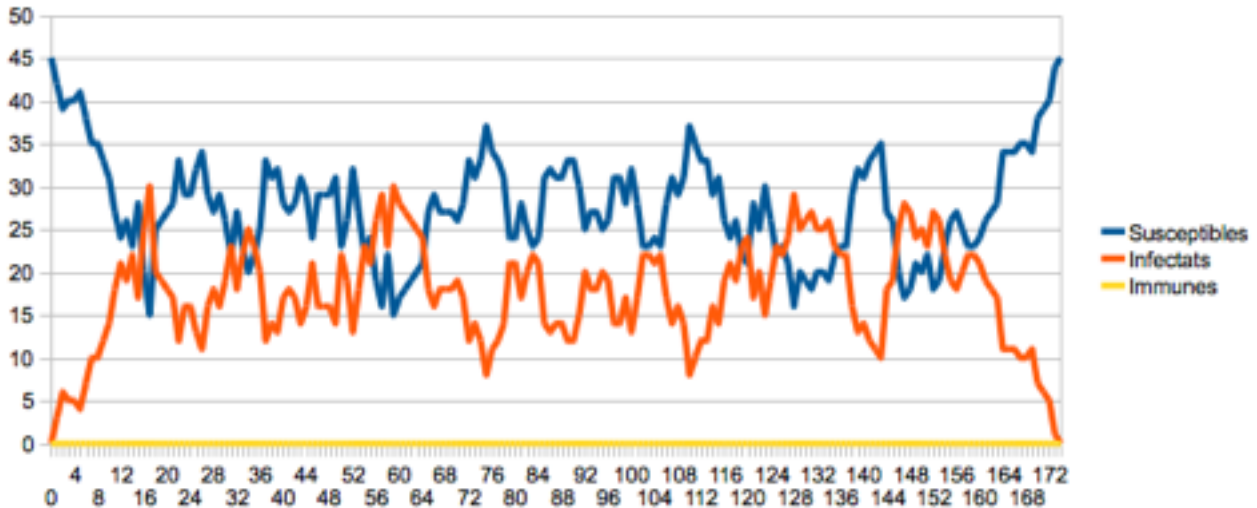
Característiques de l'epidèmia:

Mortalitat: No

Probabilitat de desenvolupar la immunitat: 0%

Infectivitat: 15%

Gràfic dels professors de la simulació 1:



Resultats a destacar:

Primer infectat: Una classe

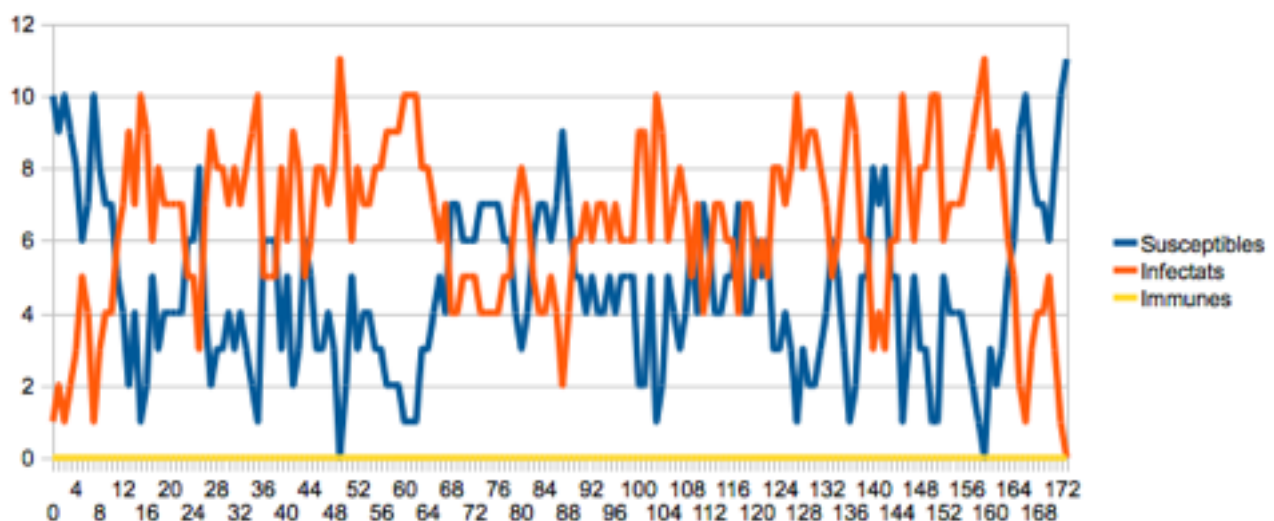
Nombre de classes vacunades: 7

Evolució de la concentració d'infectats: Augment pronunciat a l'inici fins a arribar a una concentració màxima de 30 infectats en la dissetena transmissió del virus. A partir d'aleshores, la concentració baixa i puja, però es manté en uns valors al voltant dels 20 infectats. Al final el virus s'acaba eliminant i per tant no esdevé endèmic.

Concentracions finals de cada estat: 45 susceptibles i 0 infectats

Nombre de transmissions necessàries per a l'eliminació del virus: 174

Gràfic de les classes de la simulació 1:



Resultats a destacar:

Primer infectat: Una classe

Nombre de classes vacunades: 7

Evolució de la concentració de classes infectades: Augment no tan pronunciat com en els professors a l'inici, fins a arribar a una concentració màxima d'11 classes infectades (la més alta possible) en la transmissió del virus número 49. Durant la resta de la simulació, només es torna a arribar un cop a aquesta concentració màxima. Al final el virus s'acaba eliminant i per tant no esdevé endèmic.

Concentracions finals de cada estat: 11 susceptibles i 0 infectades

Nombre de transmissions necessàries per a l'eliminació del virus: 173

Aspectes destacables del 1r i 2n cas de l'efecte de la infectivitat

Els gràfics del 1r i del 2n cas de l'efecte de la infectivitat no són gaire similars, tot i que en els dos casos se supera el límit de 250.000 ticks, i per tant podem considerar que el virus esdevé endèmic. En el primer cas, però, aquest fet es dona en totes les simulacions. En canvi, en el segon cas, com que la infectivitat és més baixa, al virus li és costós superar l'inici de la propagació, i molts cops es queda en els 600 o 800 ticks. Tot i això, quan aconsegeix transmetre's a més individus, aleshores esdevé també endèmic.

Una altra diferència entre els dos casos és el dibuix que presenten els gràfics. En el primer cas, durant pràcticament tota la simulació, la concentració d'infectats és la més alta possible. En canvi, en el segon cas observem que, tot i mantenir-se entre uns valors de 25 i 40 infectats pel que fa als professors, i 12 i 18 pel que fa a les classes, les concentracions varien molt durant tota la simulació.

Aspectes destacables de l'efecte de les vacunacions en els casos d'infectivitat

Si ens fixem en l'efecte de les vacunacions als professors, observem que tant en el primer com en el segon cas, el virus acaba desapareixent de la població. En el cas de la infectivitat del 50%, l'epidèmia tarda una mitjana de 45,5 transmissions en ser eliminada, i en la simulació realitzada, la concentració màxima de classes infectades és de 5. En el cas de la infectivitat del 15%, el virus s'elimina molt més ràpidament, ja que tarda una mitjana de 3,25 transmissions, i en la simulació només s'infecta una classe.

Pel que fa a les vacunacions a les classes, en el segon cas l'efecte és similar, ja que el virus tarda una mitjana de 2,5 transmissions en desaparèixer. En canvi, si ens fixem en el primer cas, el virus només acaba desapareixent si el primer node infectat és un professor. Si ho és una classe, el virus esdevé endèmic. Això s'explica perquè amb les classes vacunades, si un professor s'infecta,

només pot transmetre el virus entre els companys del seu departament. En canvi, si el node infectat inicial és una classe, aquesta pràcticament està enllaçada amb un professor de cada departament i per tant les opcions de transmissió són més elevades. La mitjana del nombre de transmissions que el virus tarda a eliminar-se si el primer node infectat és un professor, és de 122,5, i el màxim nombre de professors que es poden infectar són els d'un mateix departament.

Les vacunacions als professors amb més enllaços no tenen cap efecte en el desenvolupament de l'epidèmia, així com les vacunacions a les classes amb més enllaços del primer cas. En canvi, si es vacunen les 7 classes amb més enllaços en el segon cas amb la infectivitat del 15%, s'aconsegueix evitar que el virus sigui endèmic, ja que, o bé acaba eliminant-se a l'inici, o tal com observem en el gràfic de la primera simulació, fa la impressió que ha de ser un cas endèmic, però en la transmissió número 174 del virus, aquest s'acaba eliminant, havent passat per unes concentracions màximes de 30 professors infectats.

En conclusió, si volem que les vacunacions siguin efectives cal vacunar tots els professors, però no és necessari vacunar totes les classes, perquè només vacunant les que tenen més enllaços, en els casos on la infectivitat és més petita, ja s'aconsegueix que el virus no sigui endèmic. Tot i això, si volem que les vacunacions siguin eficients, cal vacunar tots els professors i totes les classes.

4.5.1.3 L'efecte de la mortalitat analitzat amb el «*Model 2*»

En aquest següent conjunt de simulacions analitzo quin és l'efecte de les vacunacions en dos casos sense immunitat, amb una infectivitat situada al 25% i amb diferent taxa de mortalitat.

En el primer cas la mortalitat és del 25%, per tant, cada cop que un agent, sigui un professor o una classe, és infectat, té un 75% de probabilitats de recuperar-se i tornar a esdevenir susceptible, i un 25% de probabilitats de morir.

En el segon cas he situat la mortalitat al 5% per observar quin comportament segueix l'epidèmia si la mortalitat és inferior.

1r cas de l'efecte de la mortalitat

Dades d'interès:

Dia de la realització: 19/8/14

Intents anteriors fallits: 0

Durada de les simulacions: 0 minuts

Nombre total de ticks de la simulació 1: 26.000

Nombre total de ticks de la simulació 2: 26.600

Nombre total de ticks de la simulació 3: 24.200

Nombre total de ticks de la simulació 4: 25.600

Mitjana del nombre total de ticks: 25.600

Mitjana del nombre de transmissions per eliminar el virus (cada 200 ticks es produeix una transmissió, per tant s'ha de dividir la mitjana del nombre de ticks totals per 200): 128

Finalitat de les simulacions:

Veure quin és l'efecte de la mortalitat del 25% en el desenvolupament d'una epidèmia a l'institut, en un model de xarxa de contactes.

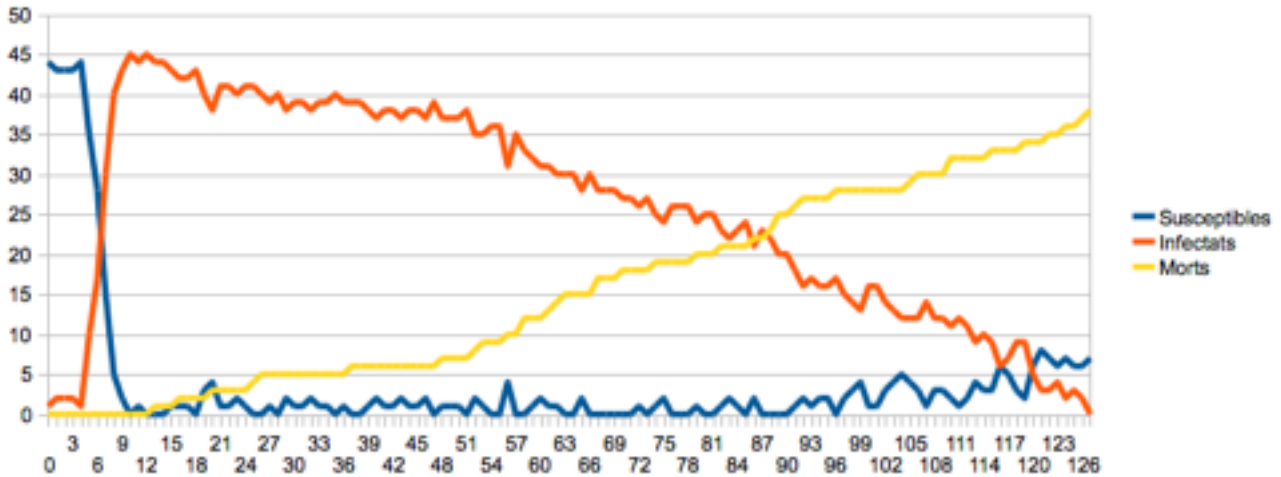
Característiques de l'epidèmia:

Mortalitat: 25%

Probabilitat de desenvolupar la immunitat: 0%

Infectivitat: 25%

Gràfic dels professors de la simulació 4:



Resultats a destacar:

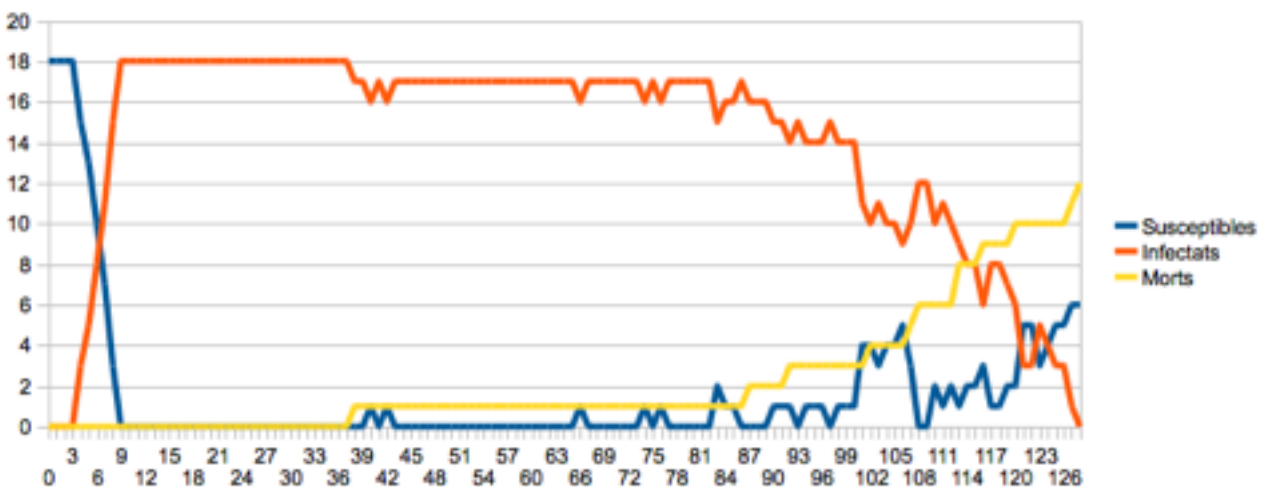
Primer infectat: Un professor

Nombre de la transmissió de l'aparició del primer mort: 13

Concentracions finals de cada estat: 7 susceptibles i 38 morts

Nombre de transmissions necessàries per a l'eliminació del virus: 127

Gràfic de les classes de la simulació 4:



Resultats a destacar:

Primer infectat: Un professor

Nombre de la transmissió de l'aparició de la primera classe morta: 38

Concentracions finals de cada estat: 6 susceptibles i 12 mortes

Nombre de transmissions necessàries per a l'eliminació del virus: 128

Efecte de les vacunacions als professors del 1r cas de l'efecte de la mortalitat

Dades d'interès:

Dia de la realització: 19/8/14

Intents anteriors fallits: 0

Durada de les simulacions: 0 minuts

Nombre total de ticks de la simulació 1: 600

Nombre total de ticks de la simulació 2: 800

Nombre total de ticks de la simulació 3: 400

Nombre total de ticks de la simulació 4: 600

Mitjana del nombre total de ticks: 600

Mitjana del nombre de transmissions per eliminar el virus (cada 200 ticks es produeix una transmissió, per tant s'ha de dividir la mitjana del nombre de ticks totals per 200): 3

Finalitat de les simulacions:

Veure quin és l'efecte de les vacunacions als professors del 1r cas de l'efecte de la mortalitat en el desenvolupament d'una epidèmia a l'institut, en un model de xarxa de contactes.

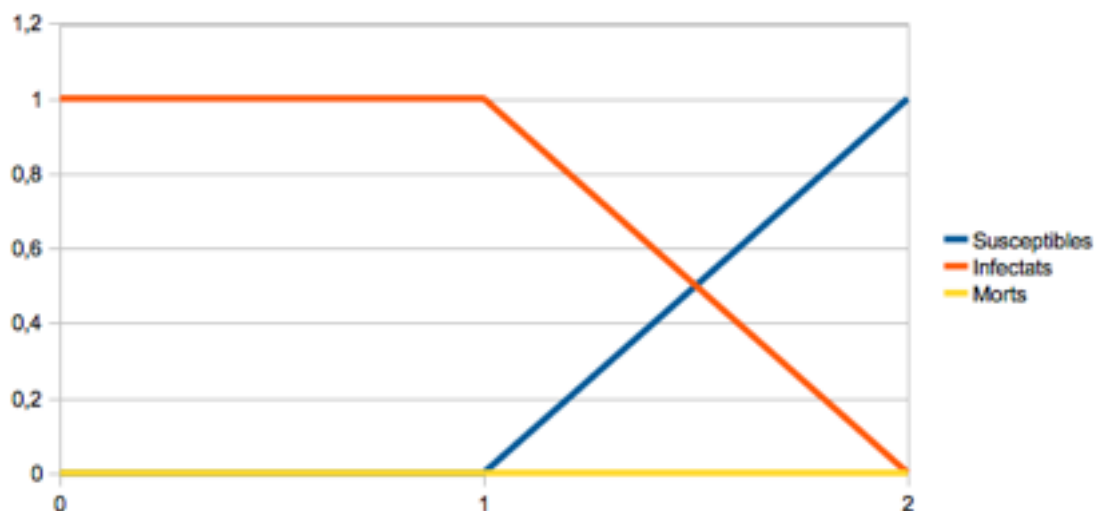
Característiques de l'epidèmia:

Mortalitat: 25%

Probabilitat de desenvolupar la immunitat: 0%

Infectivitat: 25%

Gràfic dels professors de la simulació 1:



Resultats a destacar:

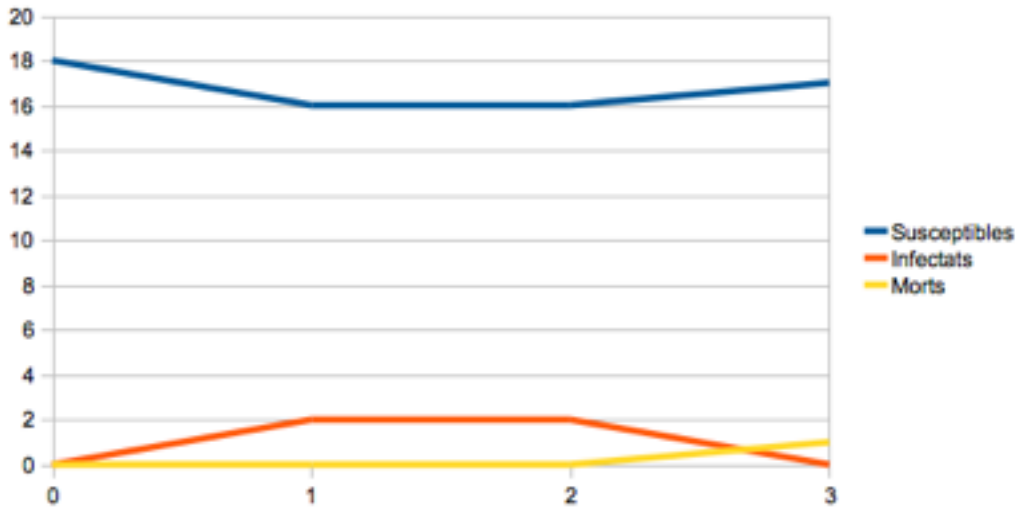
Primer infectat: Un professor

Nombre de la transmissió de l'aparició del primer mort: No hi ha morts

Concentracions finals de cada estat: 1 susceptible i 0 morts (la resta estan vacunats)

Nombre de transmissions necessàries per a l'eliminació del virus: 2

Gràfic de les classes de la simulació 1:



Resultats a destacar:

Primer infectat: Un professor

Nombre de la transmissió de l'aparició de la primera classe morta: 3

Concentracions finals de cada estat: 17 susceptibles i 1 morta

Nombre de transmissions necessàries per a l'eliminació del virus: 3

Efecte de les vacunacions a les classes del 1r cas de l'efecte de la mortalitat

Dades d'interès:

Dia de la realització: 19/8/14

Intents anteriors fallits: 0

Durada de les simulacions: 0 minuts

Nombre total de ticks de la simulació 1: 400

Nombre total de ticks de la simulació 2: 3.600

Nombre total de ticks de la simulació 3: 3.800

Nombre total de ticks de la simulació 4: 400

Mitjana del nombre total de ticks: 2.050

Mitjana del nombre de transmissions per eliminar el virus (cada 200 ticks es produeix una transmissió, per tant s'ha de dividir la mitjana del nombre de ticks totals per 200): 10,25

Finalitat de les simulacions:

Veure quin és l'efecte de les vacunacions a les classes del 1r cas de l'efecte de la mortalitat en el desenvolupament d'una epidèmia a l'institut, en un model de xarxa de contactes.

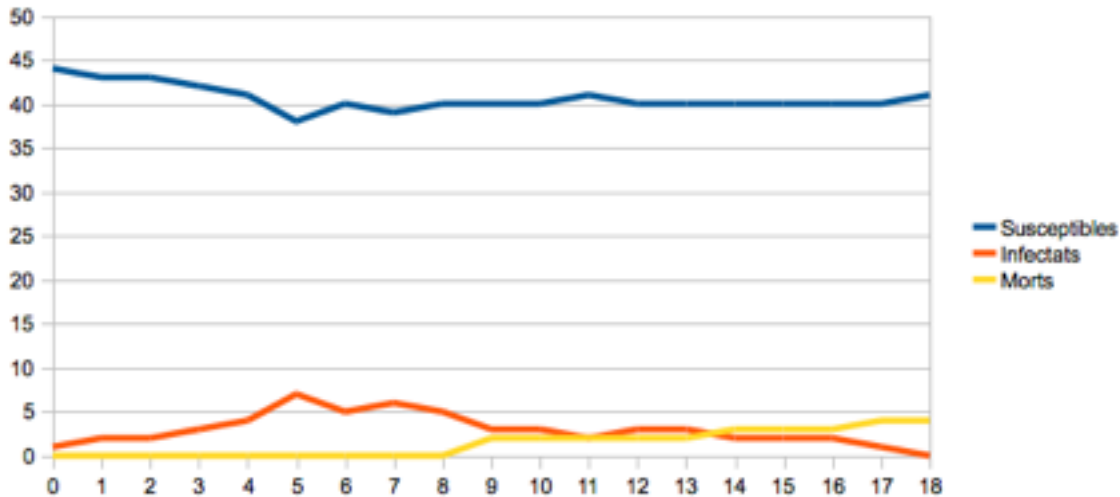
Característiques de l'epidèmia:

Mortalitat: 25%

Probabilitat de desenvolupar la immunitat: 0%

Infectivitat: 25%

Gràfic dels professors de la simulació 2:



Resultats a destacar:

Primer infectat: Un professor

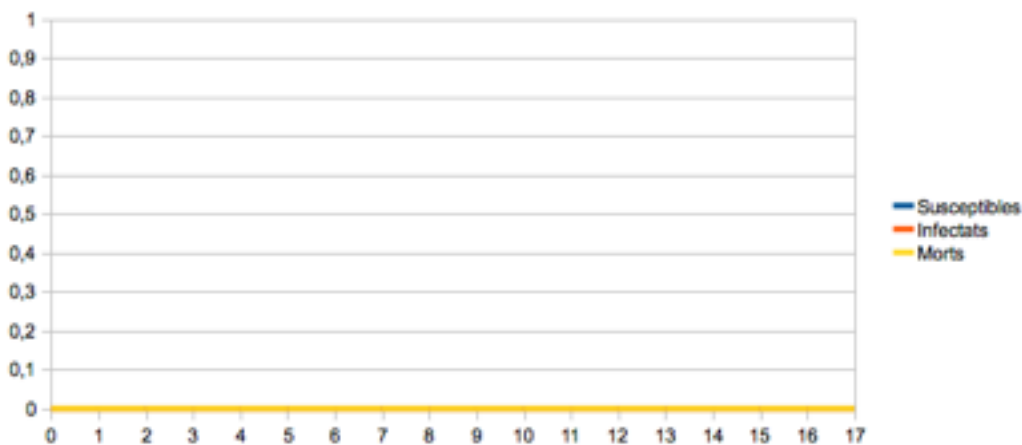
Nombre de la transmissió de l'aparició del primer mort: 9

Concentració màxima d'infectats: 7 en la cinquena transmissió

Concentracions finals de cada estat: 41 susceptible i 4 morts

Nombre de transmissions necessàries per a l'eliminació del virus: 18

Gràfic de les classes de la simulació 2:



Resultats a destacar:

Primer infectat: Un professor

Nombre de la transmissió de l'aparició de la primera classe morta: No hi ha classes mortes

Concentracions finals de cada estat: 0 susceptibles i 0 mortes (totes estan vacunades)

Nombre de transmissions necessàries per a l'eliminació del virus: 0

Efecte de les vacunacions als professors amb més enllaços del 1r cas de l'efecte de la mortalitat

Dades d'interès:

Dia de la realització: 19/8/14

Intents anteriors fallits: 0

Durada de les simulacions: 0 minuts

Nombre total de ticks de la simulació 1: 16.400

Nombre total de ticks de la simulació 2: 14.200

Nombre total de ticks de la simulació 3: 17.000

Nombre total de ticks de la simulació 4: 16.200

Mitjana del nombre total de ticks: 15.950

Mitjana del nombre de transmissions per eliminar el virus (cada 200 ticks es produeix una transmissió, per tant s'ha de dividir la mitjana del nombre de ticks totals per 200): 79,75

Finalitat de les simulacions:

Veure quin és l'efecte de les vacunacions als professors amb més de 9 enllaços del 1r cas de l'efecte de la mortalitat en el desenvolupament d'una epidèmia a l'institut, en un model de xarxa de contactes.

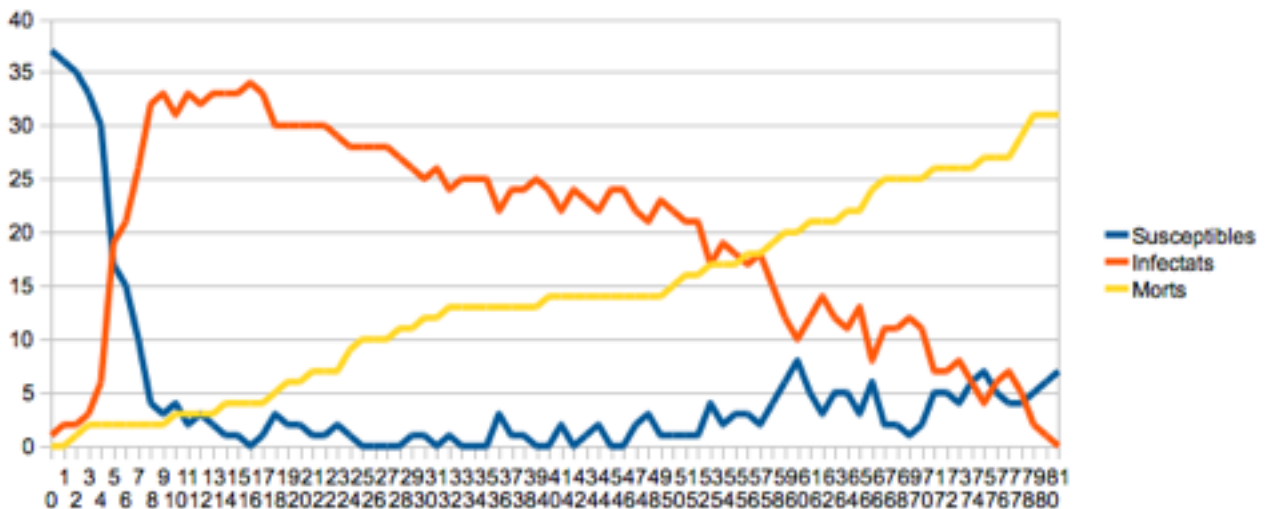
Característiques de l'epidèmia:

Mortalitat: 25%

Probabilitat de desenvolupar la immunitat: 0%

Infectivitat: 25%

Gràfic dels professors de la simulació 4:



Resultats a destacar:

Primer infectat: Un professor

Nombre de professors vacunats: 7

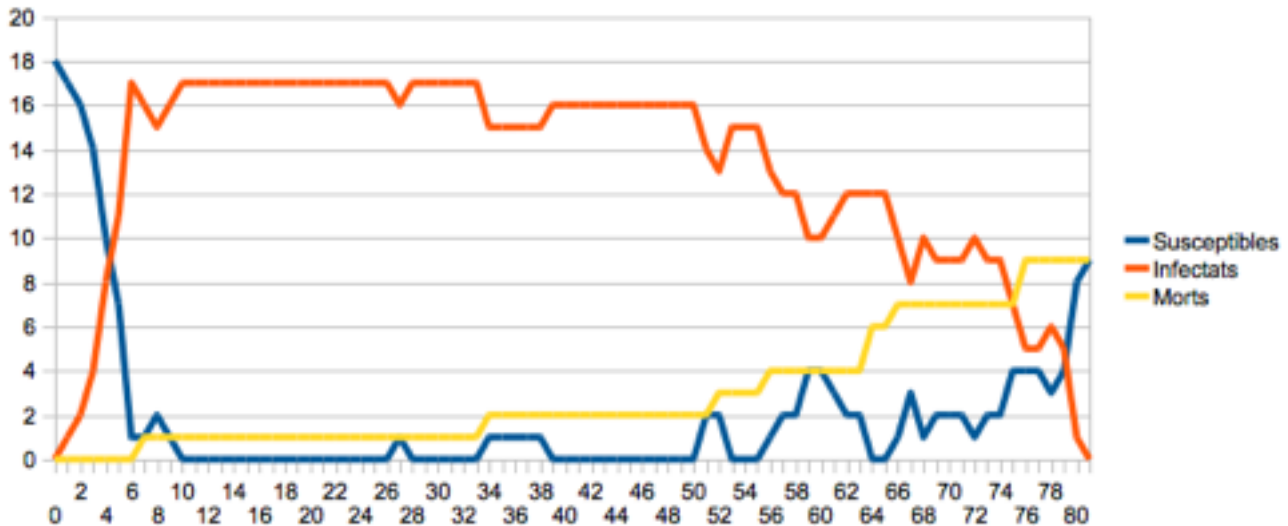
Nombre de la transmissió de l'aparició del primer mort: 2

Concentració màxima d'infectats: 34 en la setzena transmissió

Concentracions finals de cada estat: 7 susceptible i 31 morts

Nombre de transmissions necessàries per a l'eliminació del virus: 81

Gràfic de les classes de la simulació 4:



Resultats a destacar:

Primer infectat: Un professor

Nombre de la transmissió de l'aparició de la primera classe morta: 7

Concentració màxima de classes infectades: 17

Concentracions finals de cada estat: 9 susceptibles i 9 mortes

Nombre de transmissions necessàries per l'eliminació del virus: 81

Efecte de les vacunacions a les classes amb més enllaços del 1r cas de l'efecte de la mortalitat

Comentari:

En aquest cas he observat que el fet que el primer node infectat sigui un professor o una classe, influeix en el desenvolupament de l'epidèmia. Si es tracta d'un professor, el virus desapareix de seguida, en canvi, si es tracta d'una classe, el virus tarda un pèl més a eliminar-se. Aquest fenomen, que ja ha sortit en alguna simulació anterior, s'explicaria pel nombre més gran d'enllaços de les classes amb professors de diferents departaments. Per això, si el virus comença en una classe, aquest té més opcions per propagar-se.

Dades d'interès:

Dia de la realització: 19/8/14

Intents anteriors fallits: 0

Durada de les simulacions: 0 minuts

Nombre total de ticks de la simulació 1: 6.000 (classe infectada)

Nombre total de ticks de la simulació 2: 400 (professor infectat)

Nombre total de ticks de la simulació 3: 400 (professor infectat)

Nombre total de ticks de la simulació 4: 800 (professor infectat)

Nombre total de ticks de la simulació 5: 9.800 (classe infectada)

Nombre total de ticks de la simulació 6: 6.400 (classe infectada)

Nombre total de ticks de la simulació 7: 400 (professor infectat)

Mitjana del nombre total de ticks de les simulacions en què el primer node infectat és un professor:
500

Mitjana del nombre de ticks totals de les simulacions en què el primer node infectat és una classe:
7.400

Mitjana del nombre de transmissions per eliminar el virus si el primer node infectat és un professor
(cada 200 ticks es produeix una transmissió, per tant s'ha de dividir la mitjana del nombre de ticks
totals per 200): 2,5

Mitjana del nombre de transmissions per eliminar el virus si el primer node infectat és una classe
(cada 200 ticks es produeix una transmissió, per tant s'ha de dividir la mitjana del nombre de ticks
totals per 200): 37

Finalitat de les simulacions:

Veure quin és l'efecte de les vacunacions a les classes amb més de 12 enllaços del 1r cas de l'efecte de la mortalitat en el desenvolupament d'una epidèmia a l'institut, en un model de xarxa de contactes.

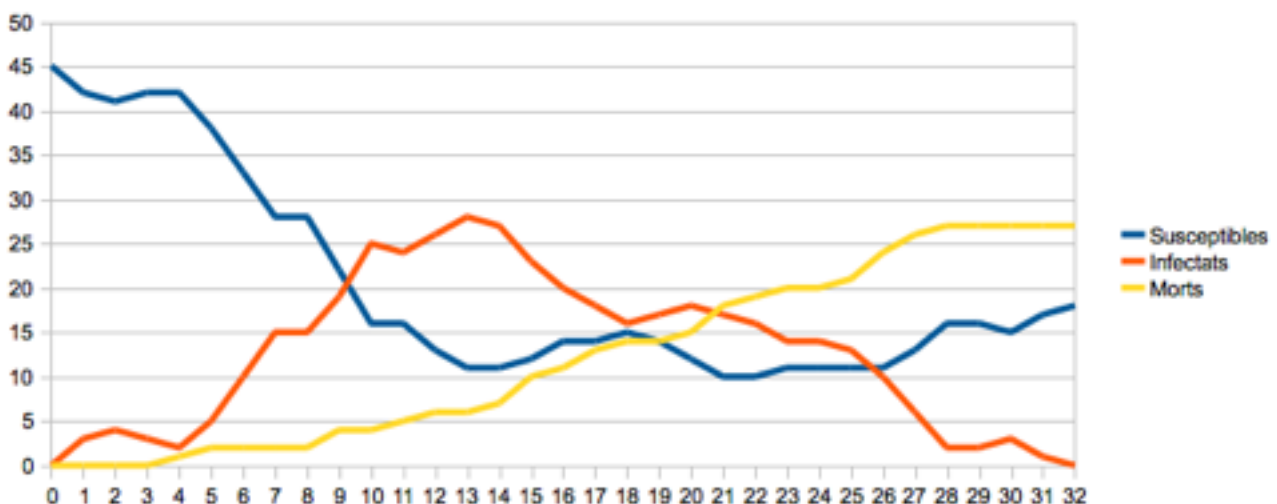
Característiques de l'epidèmia:

Mortalitat: 25%

Probabilitat de desenvolupar la immunitat: 0%

Infectivitat: 25%

Gràfic dels professors de la simulació 6:



Resultats a destacar:

Primer infectat: Una classe

Nombre de classes vacunades: 8

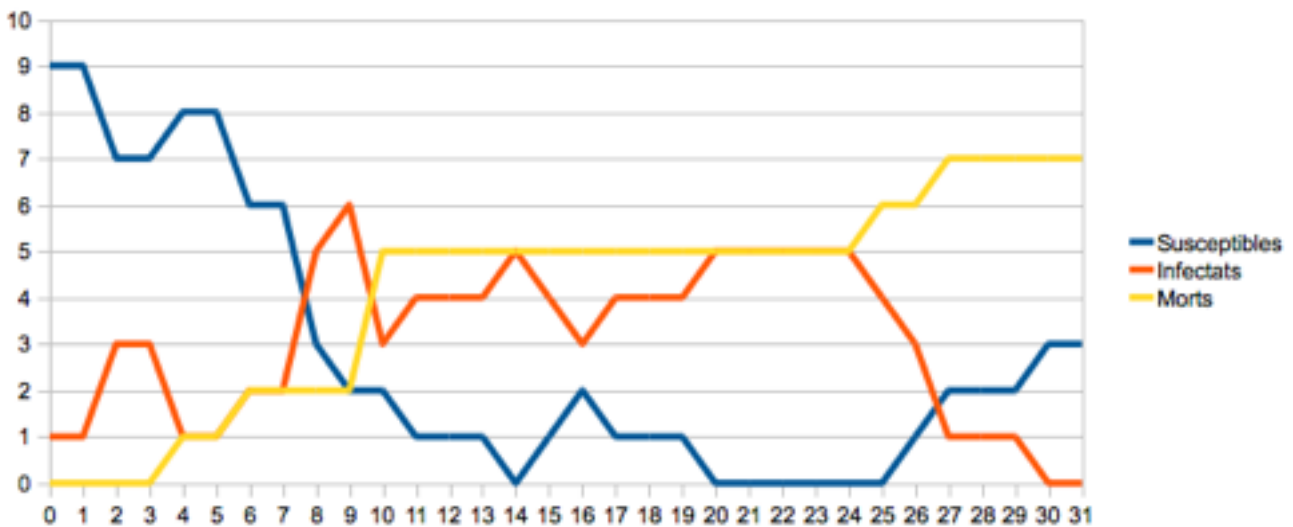
Nombre de la transmissió de l'aparició del primer mort: 4

Concentració màxima d'infectats: 28 en la tretzena transmissió

Concentracions finals de cada estat: 18 susceptibles i 27 morts

Nombre de transmissions necessàries per a l'eliminació del virus: 32

Gràfic de les classes de la simulació 6:



Resultats a destacar:

Primer infectat: Una classe

Nombre de la transmissió de l'aparició de la primera classe morta: 4

Concentració màxima de classes infectades: 6 en la novena transmissió

Concentracions finals de cada estat: 3 susceptibles i 7 mortes

Nombre de transmissions necessàries per a l'eliminació del virus: 31

2n cas de l'efecte de la mortalitat

Dades d'interès:

Dia de la realització: 19/8/14

Intents anteriors fallits: 0

Durada de les simulacions: 0 minuts

Nombre total de ticks de la simulació 1: 98.800

Nombre total de ticks de la simulació 2: 400

Nombre total de ticks de la simulació 3: 112.800

Nombre total de ticks de la simulació 4: 400

Nombre total de ticks de la simulació 5: 114.200

Mitjana del nombre total de ticks de les simulacions 1, 3 i 5: 108.600

Desenvolupament de dos models basats en agents

Mitjana del nombre de transmissions per eliminar el virus de les simulacions 1, 3 i 5 (cada 200 ticks es produeix una transmissió, per tant s'ha de dividir la mitjana del nombre de ticks totals per 200): 543

Finalitat de les simulacions:

Veure quin és l'efecte de la mortalitat del 5% en el desenvolupament d'una epidèmia a l'institut, en un model de xarxa de contactes.

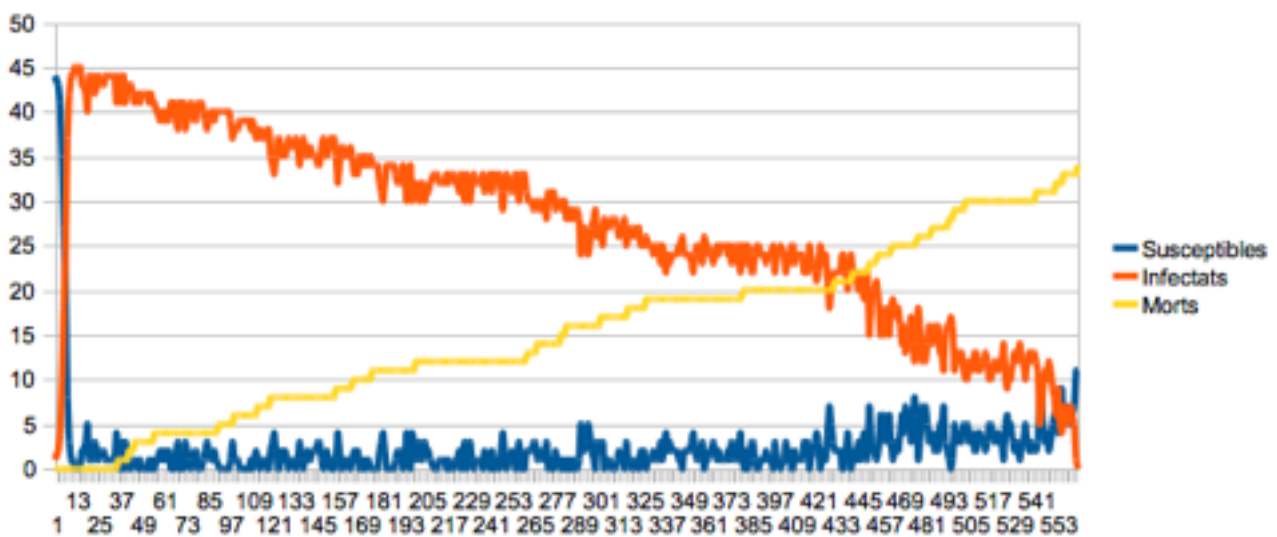
Característiques de l'epidèmia:

Mortalitat: 5%

Probabilitat de desenvolupar la immunitat: 0%

Infectivitat: 25%

Gràfic dels professors de la simulació 3:



Resultats a destacar:

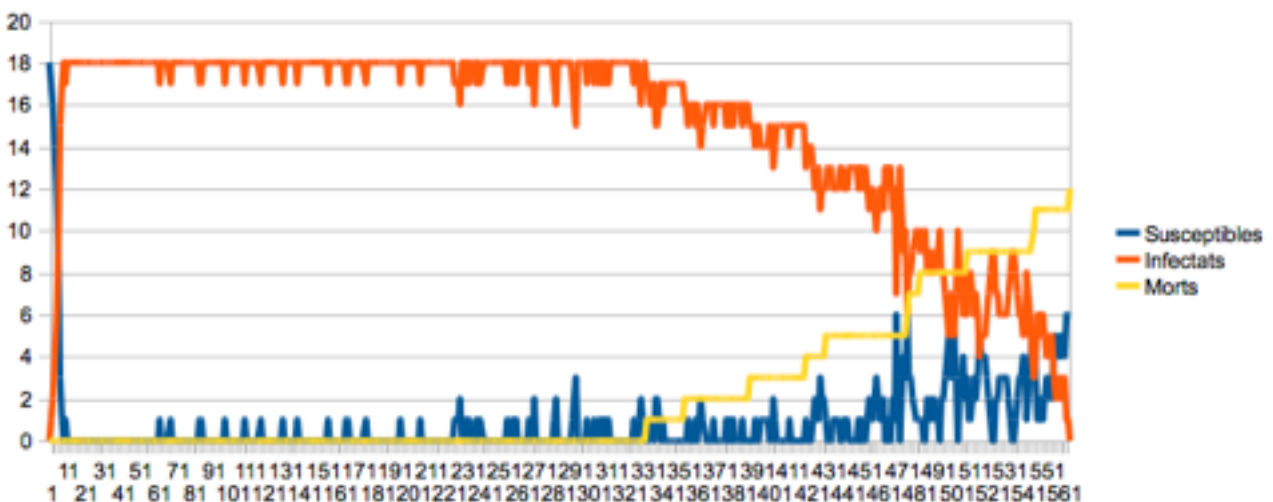
Primer infectat: Un professor

Nombre de la transmissió de l'aparició del primer mort: 35

Concentracions finals de cada estat: 11 susceptibles i 34 morts

Nombre de transmissions necessàries per a l'eliminació del virus: 564

Gràfic de les classes de la simulació 3:



Resultats a destacar:

Primer infectat: Un professor

Nombre de la transmissió de l'aparició de la primera classe morta: 330

Concentracions finals de cada estat: 6 susceptibles i 12 mortes

Nombre de transmissions necessàries per a l'eliminació del virus: 564

Efecte de les vacunacions als professors del 2n cas de l'efecte de la mortalitat

Dades d'interès:

Dia de la realització: 19/8/14

Intents anteriors fallits: 0

Durada de les simulacions: 0 minuts

Nombre total de ticks de la simulació 1: 1.600

Nombre total de ticks de la simulació 2: 400

Nombre total de ticks de la simulació 3: 800

Nombre total de ticks de la simulació 4: 600

Mitjana del nombre total de ticks: 850

Mitjana del nombre de transmissions per eliminar el virus (cada 200 ticks es produeix una transmissió, per tant s'ha de dividir la mitjana del nombre de ticks totals per 200): 4,5

Finalitat de les simulacions:

Veure quin és l'efecte de les vacunacions als professors del 2n cas de l'efecte de la mortalitat en el desenvolupament d'una epidèmia a l'institut, en un model de xarxa de contactes.

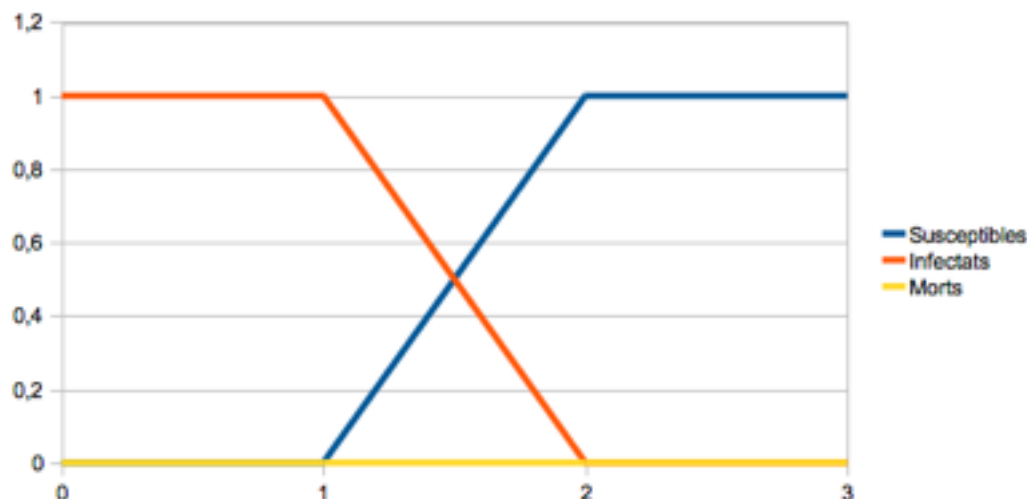
Característiques de l'epidèmia:

Mortalitat: 5%

Probabilitat de desenvolupar la immunitat: 0%

Infectivitat: 25%

Gràfic dels professors de la simulació 3:



Resultats a destacar:

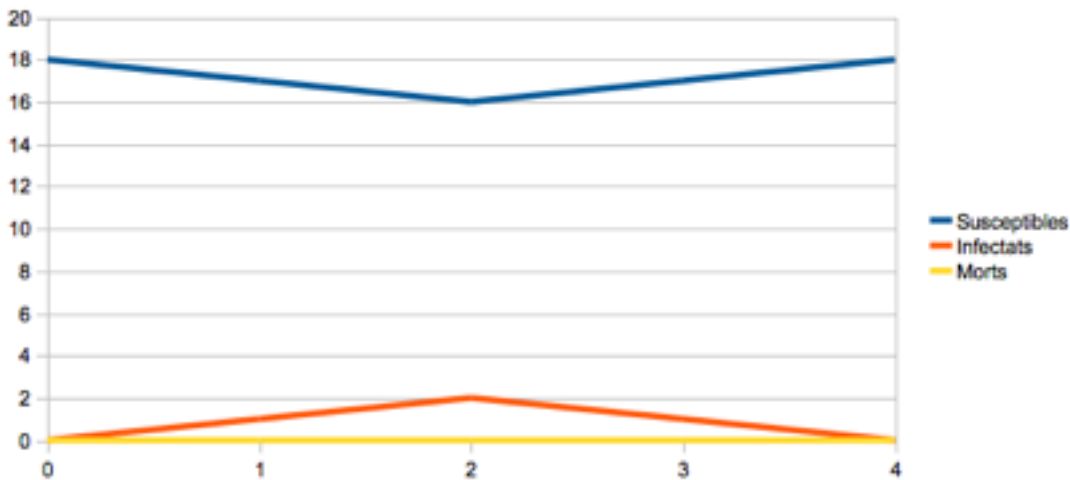
Primer infectat: Un professor

Nombre de la transmissió de l'aparició del primer mort: No hi ha morts

Concentracions finals de cada estat: 1 susceptible i 0 morts (tota la resta estan vacunats)

Nombre de transmissions necessàries per a l'eliminació del virus: 2

Gràfic de les classes de la simulació 3:



Resultats a destacar:

Primer infectat: Un professor

Nombre de la transmissió de l'aparició de la primera classe morta: No hi han classes mortes

Concentracions finals de cada estat: 18 susceptibles i 0 mortes

Nombre de transmissions necessàries per a l'eliminació del virus: 4

Efecte de les vacunacions a les classes del 2n cas de l'efecte de la mortalitat

Comentari:

En aquest cas també passa que si el primer node infectat és una classe, el virus tarda més a desaparèixer, tal com es veu en la simulació 3.

Dades d'interès:

Dia de la realització: 19/8/14

Intents anteriors fallits: 0

Durada de les simulacions: 0 minuts

Nombre total de ticks de la simulació 1: 800

Nombre total de ticks de la simulació 2: 400

Nombre total de ticks de la simulació 3: 7.600

Nombre total de ticks de la simulació 4: 800

Mitjana del nombre total de ticks de les simulacions en què el primer node infectat és un professor: 666,67

Mitjana del nombre de transmissions per eliminar el virus si el primer node infectat és un professor (cada 200 ticks es produeix una transmissió, per tant s'ha de dividir la mitjana del nombre de ticks totals per 200): 3,3

Finalitat de les simulacions:

Veure quin és l'efecte de les vacunacions a les classes del 2n cas de l'efecte de la mortalitat en el desenvolupament d'una epidèmia a l'institut, en un model de xarxa de contactes.

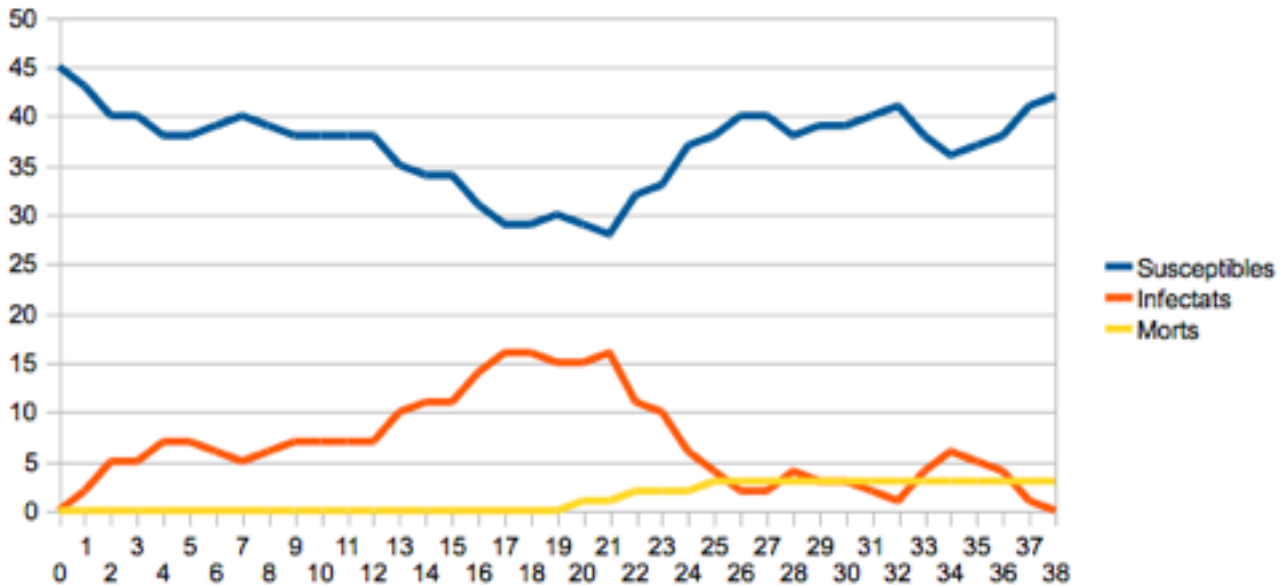
Característiques de l'epidèmia:

Mortalitat: 5%

Probabilitat de desenvolupar la immunitat: 0%

Infectivitat: 25%

Gràfic dels professors de la simulació 3:



Resultats a destacar:

Primer infectat: Una classe

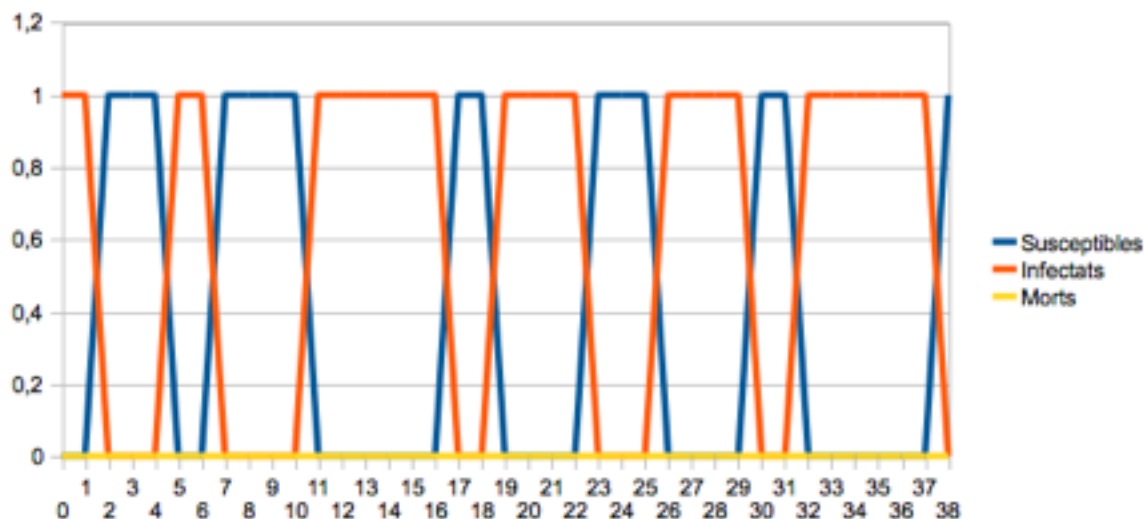
Nombre de la transmissió de l'aparició del primer mort: 20

Concentració màxima d'infectats: 16

Concentracions finals de cada estat: 42 susceptibles i 3 morts

Nombre de transmissions necessàries per a l'eliminació del virus: 38

Gràfic de les classes de la simulació 3:



Resultats a destacar:

Primer infectat: Una classe

Nombre de la transmissió de l'aparició de la primera classe morta: No hi han classes mortes

Concentracions finals de cada estat: 1 susceptible i 0 mortes (tota la resta estan vacunades)

Nombre de transmissions necessàries per a l'eliminació del virus: 38

Efecte de les vacunacions als professors amb més enllaços del 2n cas de l'efecte de la mortalitat

Dades d'interès:

Dia de la realització: 19/8/14

Intents anteriors fallits: 0

Durada de les simulacions: 0 minuts

Nombre total de ticks de la simulació 1: 56.200

Nombre total de ticks de la simulació 2: 43.000

Nombre total de ticks de la simulació 3: 55.800

Nombre total de ticks de la simulació 4: 69.000

Mitjana del nombre total de ticks: 56.000

Mitjana del nombre de transmissions per eliminar el virus (cada 200 ticks es produeix una transmissió, per tant s'ha de dividir la mitjana del nombre de ticks totals per 200): 280

Finalitat de les simulacions:

Veure quin és l'efecte de les vacunacions als professors amb més de 9 enllaços del 2n cas de l'efecte de la mortalitat en el desenvolupament d'una epidèmia a l'institut, en un model de xarxa de contactes.

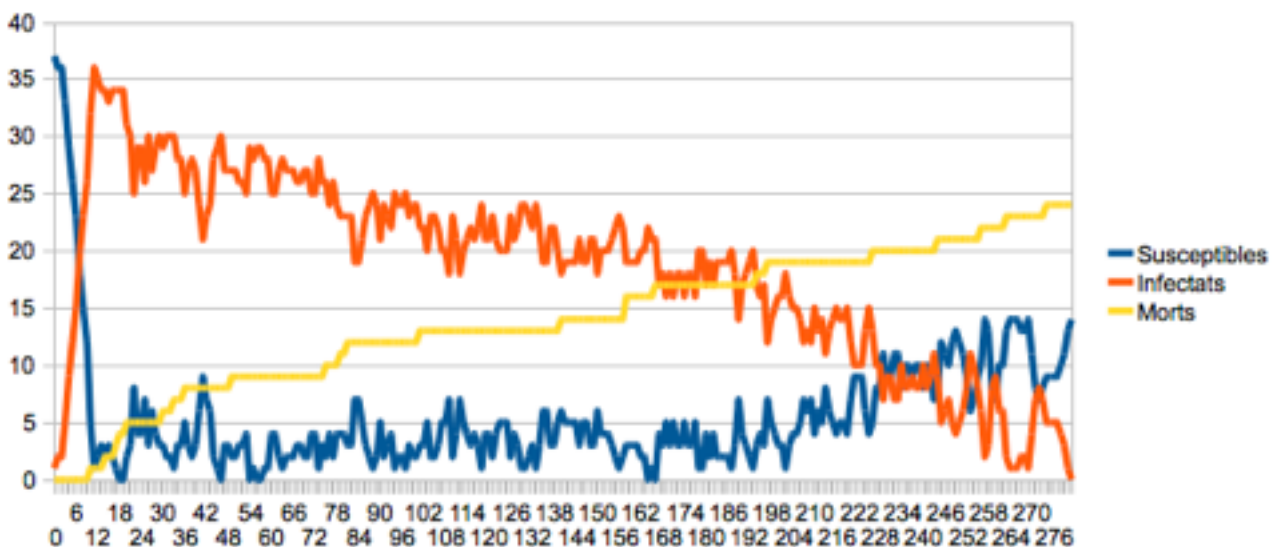
Característiques de l'epidèmia:

Mortalitat: 5%

Probabilitat de desenvolupar la immunitat: 0%

Infectivitat: 25%

Gràfic dels professors de la simulació 1:



Resultats a destacar:

Primer infectat: Un professor

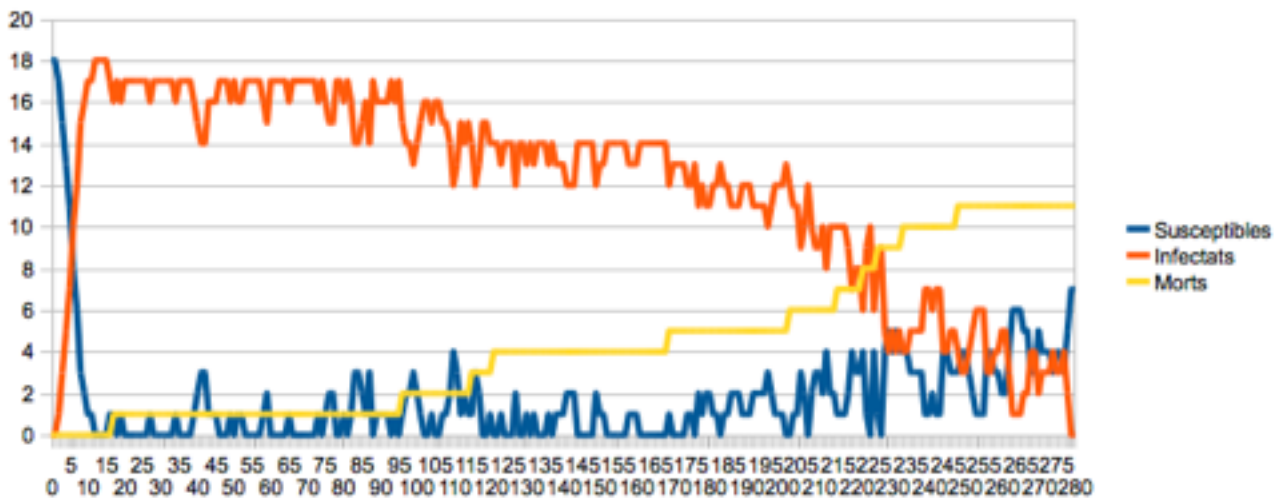
Nombre de professors vacunats: 7

Nombre de la transmissió de l'aparició del primer mort: 10

Concentracions finals de cada estat: 14 susceptibles i 24 morts

Nombre de transmissions necessàries per a l'eliminació del virus: 281

Gràfic de les classes de la simulació 1:



Resultats a destacar:

Primer infectat: Un professor

Nombre de la transmissió de l'aparició de la primera classe morta: 17

Concentracions finals de cada estat: 7 susceptible i 11 mortes

Nombre de transmissions necessàries per a l'eliminació del virus: 280

Efecte de les vacunacions a les classes amb més enllaços del 2n cas de l'efecte de la mortalitat

Dades d'interès:

Dia de la realització: 19/8/14

Intents anteriors fallits: 0

Durada de les simulacions: 0 minuts

Nombre total de ticks de la simulació 1: 53.400

Nombre total de ticks de la simulació 2: 45.400

Nombre total de ticks de la simulació 3: 400

Nombre total de ticks de la simulació 4: 63.800

Mitjana del nombre total de ticks de les simulacions 1, 2 i 4: 54.200

Mitjana del nombre de transmissions per eliminar el virus de les simulacions 1, 2 i 4 (cada 200 ticks es produeix una transmissió, per tant s'ha de dividir la mitjana del nombre de ticks totals per 200): 271

Finalitat de les simulacions:

Veure quin és l'efecte de les vacunacions a les classes amb més de 12 enllaços del 2n cas de l'efecte de la mortalitat en el desenvolupament d'una epidèmia a l'institut, en un model de xarxa de contactes.

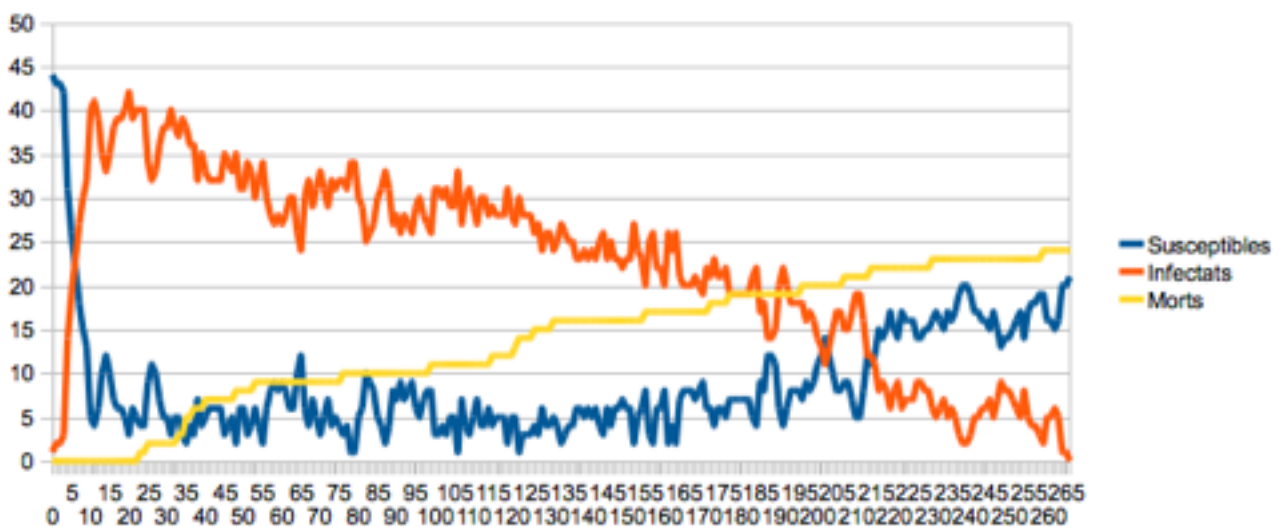
Característiques de l'epidèmia:

Mortalitat: 5%

Probabilitat de desenvolupar la immunitat: 0%

Infectivitat: 25%

Gràfic dels professors de la simulació 1:



Resultats a destacar:

Primer infectat: Un professor

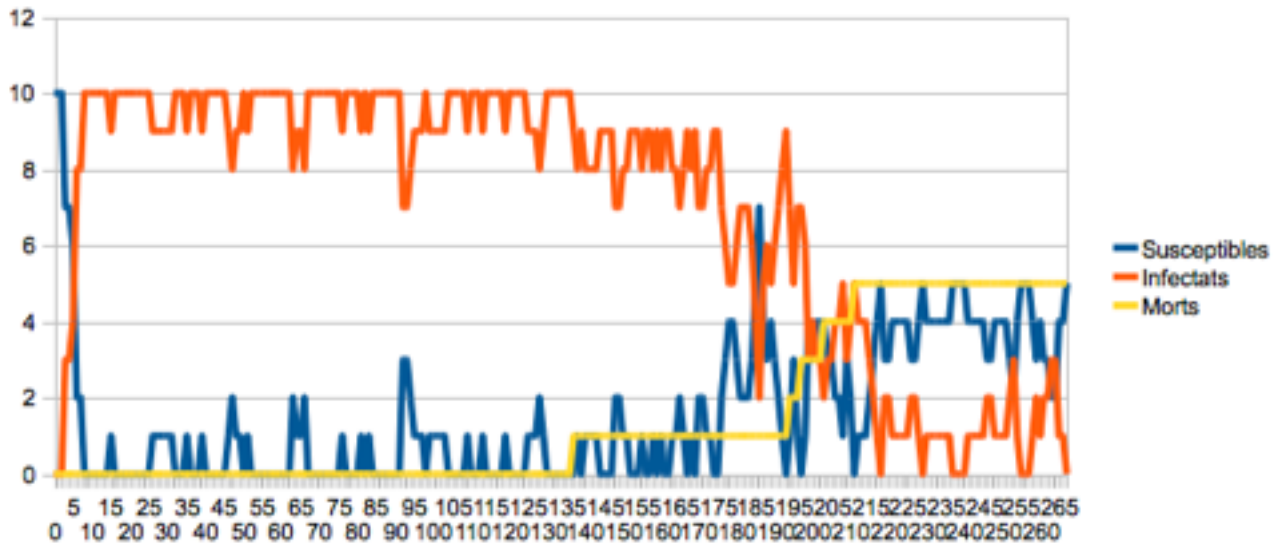
Nombre de classes vacunades: 8

Nombre de la transmissió de l'aparició del primer mort: 23

Concentracions finals de cada estat: 21 susceptibles i 24 morts

Nombre de transmissions necessàries per a l'eliminació del virus: 266

Gràfic de les classes de la simulació 1:



Resultats a destacar:

Primer infectat: Un professor

Nombre de la transmissió de l'aparició de la primera classe morta: 137

Concentracions finals de cada estat: 5 susceptible i 5 mortes

Nombre de transmissions necessàries per a l'eliminació del virus: 267

Aspectes destacables del 1r i 2n cas de l'efecte de la mortalitat

Tot i els 20 punts de diferència entre els dos casos (25% i 5%), les concentracions finals de cada estat són, si més no, similars. Això passa perquè la diferència en el nombre de transmissions que el virus necessita per desaparèixer en cada cas, és molt gran. Així doncs, en el primer cas, el virus només necessita 128 transmissions de mitjana, per matar pràcticament la mateixa població que el virus del segon cas mata en, de mitjana, 543 transmissions. Per tant, tot i tenir una mortalitat força més baixa, la presència de l'epidèmia del segon cas en la població durant més temps a causa del nombre més gran de susceptibles que es recuperen, produeix a la llarga una mortalitat similar a la del primer cas. De fet, els resultats són idèntics pel que fa a les classes, ja que en els dos casos només en queden 6 de susceptibles. I varia una mica en el cas dels professors, ja que amb la mortalitat del 25% queden 7 susceptibles, i amb la mortalitat del 5% queden 11 susceptibles.

Una altra dada interessant és l'aparició del primer agent mort. El primer professor mort del primer cas apareix en la transmissió del virus número 13, i la primera classe en la número 38. En canvi, les dades respectives del segon cas són més grans, 35 i 330.

Aspectes destacables de l'efecte de les vacunacions en els casos de mortalitat

Si ens fixem en l'efecte de les vacunacions als professors, podem concloure que són realment efectives, ja que s'aconsegueix reduir moltíssim la vida del virus. El nombre de transmissions necessàries per fer-lo desaparèixer passa en el primer cas de 128 a 3, i en el segon de 543 a 4,5. Tot i així, per desgràcia en el primer cas una classe infectada no es recupera i mor.

Si observem l'efecte de les vacunacions a les classes, els resultats no són tan positius. En el primer cas, el virus tarda una mitjana de 10,25 transmissions en eliminar-se i 4 professors moren. En el segon cas, si el primer node és un professor, com que només pot transmetre'l als del seu departament, de seguida desapareix. En canvi, si el primer node infectat és una classe, com que el virus pot arribar a pràcticament qualsevol departament, segons la simulació realitzada, l'epidèmia tarda 38 transmissions a eliminar-se, i moren 3 professors.

En els escenaris de les vacunacions als 7 professors amb més enllaços, el nombre de transmissions necessàries per l'eliminació del virus es veu força reduït. En el primer cas és de 79,75, i en el segon és de 280. Tot i això les diferències respecte a no vacunar a ningú són mínimes, perquè de professors se'n moren 31 i 24 respectivament, i el nombre de classes que acaben sobrevivint només augmenta com a màxim en 3.

En canvi, la diferència és més notable si ens fixem en l'efecte de les vacunacions a les classes amb més de 12 enllaços. Al primer cas, on la mortalitat és més elevada, apareix el mateix fenomen que abans, si el primer node infectat és un professor, el virus desapareix de seguida, en canvi, si es tracta d'una classe, el virus tarda un pèl més a eliminar-se. Però sorprenentment la mitjana és molt més baixa que en els casos de les vacunacions als professors amb més enllaços, concretament el virus necessita 37 transmissions per eliminar-se. En el segon cas, aquesta mitjana és de 271, aproximant-se així als valors dels casos anteriors. Si ens centrem només en la mortalitat, en les simulacions del primer cas moren 27 professors i 7 classes, i en el segon 24 professors i 5 classes. Per tant s'evidencia un poc pronunciat decreixement de la mortalitat tot i la reducció de les mitjanes dels nombres de transmissió necessaris per eliminar els virus.

En conclusió, les vacunacions només protegeixen la major part de la població si es realitzen a tots els professors o a totes les classes. Si només volem vacunar una part d'un d'aquests grups, la mortalitat s'eleva força. Les millors dades respecte a aquest escenari les obtenim en els casos de l'efecte de les vacunacions a les classes amb més enllaços, ja que en les simulacions s'arriben a salvar 11 professors més i 7 classes més.

5. Conclusions

En aquest darrer bloc del treball, concloc, mitjançant un resum dels aspectes més destacables de les simulacions, que les hipòtesis plantejades a l'inici s'han pogut confirmar.

Així doncs, primerament exposo els punts més destacats dels resultats obtinguts amb el model basat en la mobilitat dels agents. Aquests em permeten afirmar que a mesura que la mobilitat dels agents es va veient cada cop més reduïda, a l'epidèmia li costa més transmetre's.

A continuació faig el mateix amb els resultats obtinguts a partir del model basat en la xarxa de contactes, que em permeten afirmar que la vacunació d'un sector de la població pot frenar la transmissió d'una epidèmia.

Posteriorment, també comento les diferències principals entre els dos models referents al comportament de l'epidèmia, sense deixar de tenir en compte el singular funcionament de cada un d'ells.

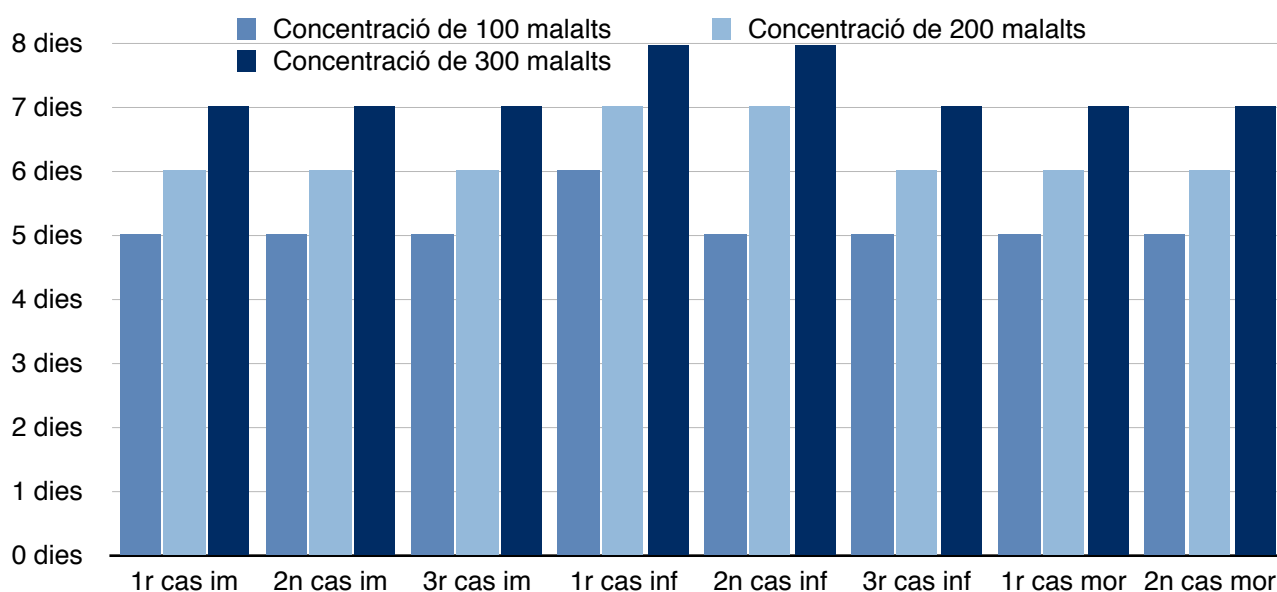
Finalment, en aquest apartat esmento les principals mancances dels models que s'haurien de tenir en consideració a l'hora d'interpretar els resultats de les simulacions, i també proposo noves vies d'investigació que podrien partir de la feina feta en aquest treball.

5.1 L'efecte de les modificacions del comportament dels agents

Per visualitzar millor l'efecte que tenen les modificacions del comportament dels agents en l'evolució de l'epidèmia, he elaborat, per a cada escenari, una taula que mostra en quants dies s'arriba a una concentració de 100, 200 i 300 individus malalts respectivament. Així doncs, la primera taula i el gràfic corresponen al primer escenari, on encara no s'apliquen modificacions:

	Immunitat			Infectivitat			Mortalitat	
	1r cas (18 dies 100%)	2n cas (7 dies 90%)	3r cas (7 dies 100%)	1r cas (2%)	2n cas (50%)	3r cas (100%)	1r cas (5%)	2n cas (25%)
Concentració de 100 malalts	5 dies	5 dies	5 dies	6 dies	5 dies	5 dies	5 dies	5 dies
Concentració de 200 malalts	6 dies	6 dies	6 dies	7 dies	7 dies	6 dies	6 dies	6 dies
Concentració de 300 malalts	7 dies	7 dies	7 dies	8 dies	8 dies	7 dies	7 dies	7 dies

TAULA 3: RESULTATS DEL PRIMER ESCENARI DEL MODEL 1. [FONT PRÒPIA]

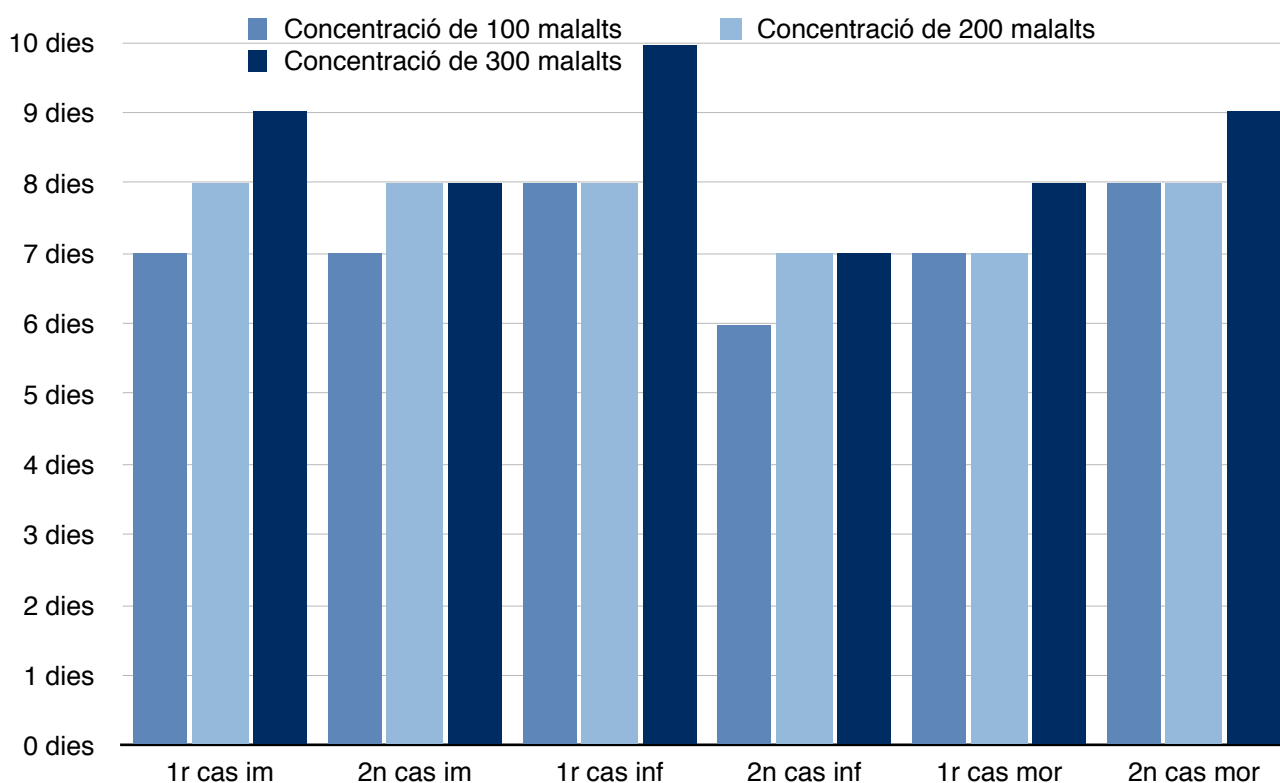


GRÀFIC 4: VISUALITZACIÓ DELS RESULTATS DEL PRIMER ESCENARI DEL MODEL 1. [FONT PRÒPIA]

La segona taula i el seu gràfic corresponen a l'escenari sense hores de pati:

	Immunitat		Infectivitat		Mortalitat	
	1r cas (18 dies 100%)	2n cas (7 dies 90%)	1r cas (2%)	2n cas (50%)	1r cas (5%)	2n cas (25%)
Concentració de 100 malalts	7 dies	7 dies	8 dies	6 dies	7 dies	8 dies
Concentració de 200 malalts	8 dies	8 dies	8 dies	7 dies	7 dies	8 dies
Concentració de 300 malalts	9 dies	8 dies	10 dies	7 dies	8 dies	9 dies

TAULA 4: RESULTATS DEL SEGON ESCENARI DEL MODEL 1. [FONT PRÒPIA]

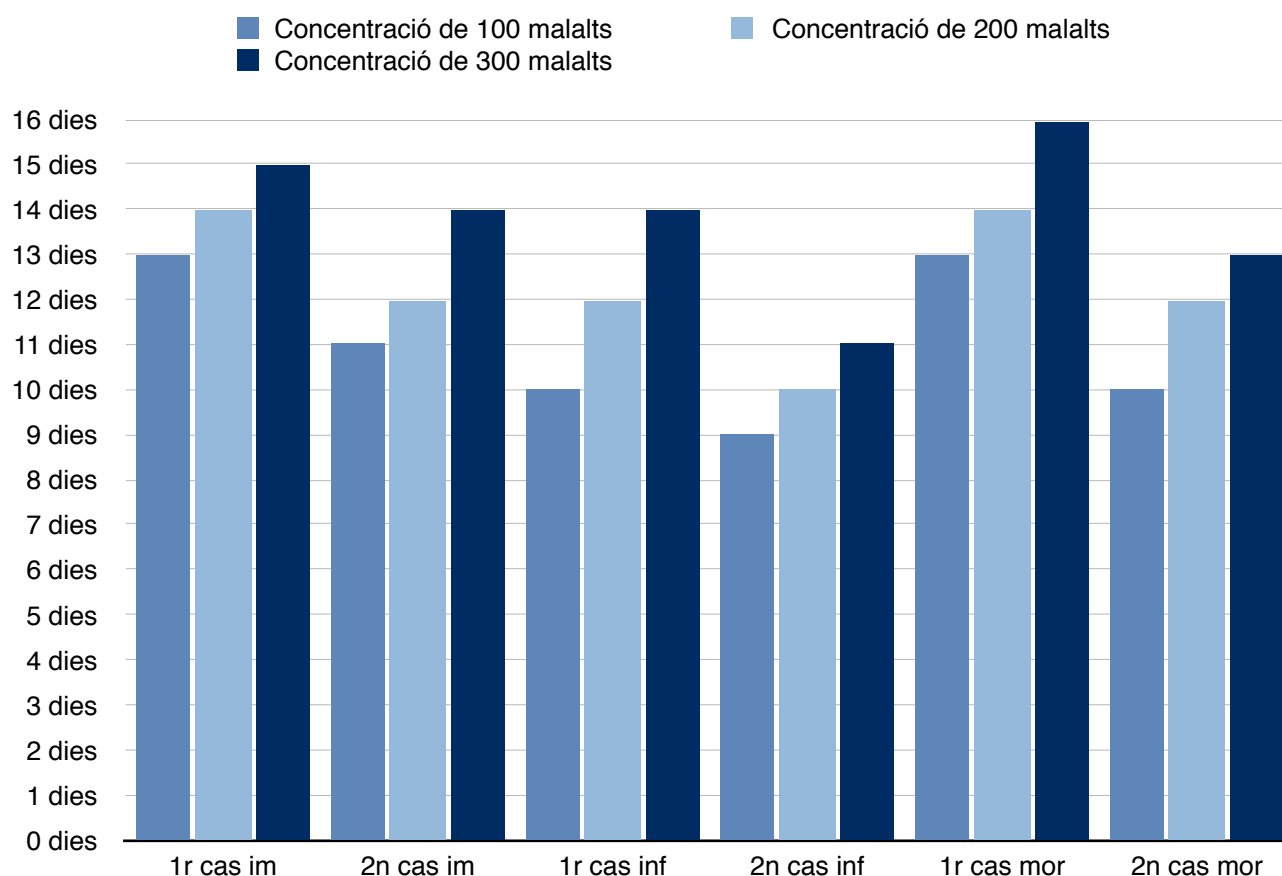


GRÀFIC 5: VISUALITZACIÓ DELS RESULTATS DEL SEGON ESCENARI DEL MODEL 1. [FONT PRÒPIA]

La tercera taula i el seu gràfic corresponen a l'escenari sense hores de pati ni canvis de planta:

	Immunitat		Infectivitat		Mortalitat	
	1r cas (18 dies 100%)	2n cas (7 dies 90%)	1r cas (2%)	2n cas (50%)	1r cas (5%)	2n cas (25%)
Concentració de 100 malalts	13 dies	11 dies	10 dies	9 dies	13 dies	10 dies
Concentració de 200 malalts	14 dies	12 dies	12 dies	10 dies	14 dies	12 dies
Concentració de 300 malalts	15 dies	14 dies	14 dies	11 dies	16 dies	13 dies

TAULA 5: RESULTATS DEL TERCER ESCENARI DEL MODEL 1. [FONT PRÒPIA]

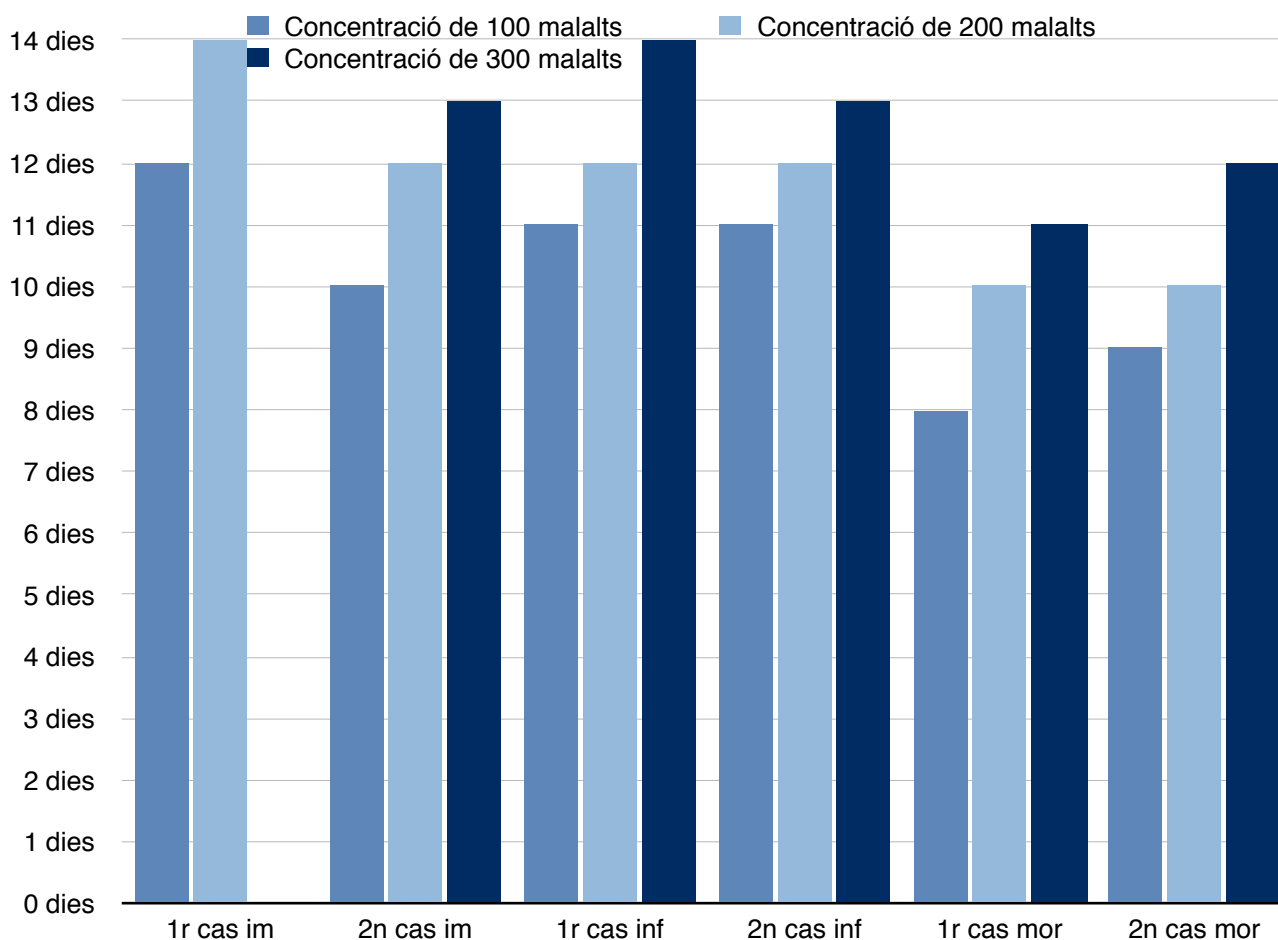


GRÀFIC 6: VISUALITZACIÓ DELS RESULTATS DEL TERCER ESCENARI DEL MODEL 1. [FONT PRÒPIA]

La quarta taula i el seu gràfic corresponen a l'escenari sense hores de pati ni canvis d'aula:

	Immunitat		Infectivitat		Mortalitat	
	1r cas (18 dies 100%)	2n cas (7 dies 90%)	1r cas (2%)	2n cas (50%)	1r cas (5%)	2n cas (25%)
Concentració de 100 malalts	12 dies	10 dies	11 dies	11 dies	8 dies	9 dies
Concentració de 200 malalts	14 dies	12 dies	12 dies	12 dies	10 dies	10 dies
Concentració de 300 malalts	No s'arriba mai a aquesta concentració.	13 dies	14 dies	13 dies	11 dies	12 dies

TAULA 6: RESULTATS DEL QUART ESCENARI DEL MODEL 1. [FONT PRÒPIA]



GRÀFIC 7: VISUALITZACIÓ DELS RESULTATS DEL QUART ESCENARI DEL MODEL 1. [FONT PRÒPIA]

A partir de la informació obtinguda de les simulacions, i tal com es pot observar en les taules i els gràfics, he pogut confirmar la primera hipòtesi, i sintetitzar en tres punts els aspectes més destacables referents al desenvolupament de l'epidèmia.

- A mesura que la mobilitat dels agents va limitant-se en anar passant pels diferents escenaris, el ritme d'infecció també va disminuint. Aquest fet comporta que en els dos darrers escenaris, la rapidesa amb la qual el virus es transmet sigui força menor, provocant un grau més gran d'estabilitat en les concentracions dels diferents estats.
- Tot i els diferents escenaris plantejats, és inevitable que l'epidèmia acabi esdevenint endèmica, és a dir, que no arribi a desaparèixer mai de la població. L'única excepció la trobem en el primer cas, on el llarg període d'immunitat ho impedeix.
- Sobta especialment comprovar que entre l'escenari sense hores de pati i l'original, el desenvolupament de l'epidèmia és més semblant que no pas entre l'escenari sense hores de pati i l'escenari sense hores de pati ni canvis de planta. Això demostra que eliminar els canvis de planta en cas d'epidèmia és realment útil, ja que com s'ha comprovat en les simulacions, les concentracions de susceptibles poden arribar a tardar fins a 11 dies en començar a disminuir significativament.

5.2 L'efecte de les vacunacions

Mitjançant l'observació de la taula 7, podem assegurar que les vacunacions són capaces de frenar la propagació d'una epidèmia, o en molts casos, reduir el nombre de transmissions necessàries per eliminar-la de la població.

En els següents punts s'han sintetitzat els aspectes més destacables dels resultats obtinguts de les simulacions fetes amb el model basat en la xarxa de contactes de l'institut sobre els quatre nivells de vacunacions: als professors, als alumnes, als professors amb més enllaços i als alumnes amb més enllaços.

- Les vacunacions efectuades a tots els professors o bé a totes les classes, permeten aconseguir uns resultats molt positius, ja que provoquen la pràcticament instantània desaparició de l'epidèmia en la major part dels casos.
- Si valorem les vacunacions efectuades només als professors o a les classes que presenten més enllaços, observem que, depenent del cas, els resultats poden variar bastant. En els casos de l'efecte de la immunitat, aquestes vacunacions acceleren la desaparició de l'epidèmia. En els casos de l'efecte de la infectivitat, l'impacte que provoquen és mínim, si no inexistent. I en els casos de l'efecte de la mortalitat, tot i la pronunciada reducció del nombre necessari de transmissions per eliminar el virus, els millors resultats obtinguts, on s'arriben a salvar 11 professors i 7 classes, no s'acosten ni de bon tros als del primer punt.

- En determinades simulacions, el fet que el primer node infectat sigui un professor o una classe, repercuteix en el resultat final.

		Immunitat		Infectivitat		Mortalitat	
		1r cas (50%)	2n cas (2%)	1r cas (50%)	2n cas (15%)	1r cas (25%)	2n cas (5%)
Transmissions necessàries per eliminar el virus	Sense vacunacions	31,75	529	∞	3,5/ ∞ *	128	543
	Vacunacions als professors	3	2,25	45,5	3,25	3	4,5
	Vacunacions als alumnes	3,75	8,5	122,5/ ∞ *	2,5	10,25	3,3/38*
	Vacunacions als professors amb més enllaços	24,5	237,25	∞	3,5/ ∞ *	79,75	280
	Vacunacions als alumnes amb més enllaços	22	2/150*	∞	3/174*	2,5/37*	271

* Hi apareixen dos nombres perquè en algunes simulacions, el virus desapareix de seguida, però en d'altres li és més costós eliminar-se. Normalment aquest fenomen es relaciona amb la "identification" del primer node infectat.

TAULA 7: RESULTATS DE LES VACUNACIONS AL MODEL 2. [FONT PRÒPIA]

5.3 Comparació del desenvolupament de l'epidèmia en els dos models

Tot i que l'objectiu principal d'aquest treball no és el de comparar la dinàmica de l'epidèmia entre el model basat en la mobilitat dels agents i el model basat en la xarxa de contactes, sinó més aviat, utilitzar les característiques de cadascun per plantejar escenaris diferents. En aquesta conclusió destaco tres aspectes que m'han semblat importants a comentar, referents al diferent efecte de les característiques de l'epidèmia en els dos models.

- En el primer model, la duració de la immunitat és limitada, i com a conseqüència és possible que l'epidèmia esdevingui endèmica. En canvi, en el segon cas, un cop un individu esdevé immune, es queda en aquest estat per sempre. Per això una epidèmia a la llarga acaba desapareixent de la població.
- Com a conseqüència de l'existència d'un període d'infectivitat al primer model, encara que la probabilitat de transmetre la malaltia sigui d'un 2%, aquesta se segueix propagant i acaba esdevenint endèmica. Contràriament, com que en el segon model no hi ha cap període d'infectivitat i cada agent només té una oportunitat per transmetre el virus, si situem la infectivitat al 2%, és pràcticament impossible que el virus es propagui.*
- En els casos de l'efecte de la mortalitat, en el primer model, encara que més del 70% de la població ja s'hagi mort, l'epidèmia segueix propagant-se fins a arribar a matar pràcticament tothom. En canvi, en el segon model, si ens fixem en el cas amb més morts, les concentracions finals del qual són: 38 professors morts i 12 classes mortes, és a dir, 398 individus, que respecte dels 585 inicials representen un 68%, observem com el virus desapareix abans de matar més del 70% de la població.

5.4 Mancances dels models

Un model és una simplificació de la realitat que intenta detectar els elements fonamentals d'un problema concret, eliminant-ne aspectes secundaris. Per això podríem dir que la modelització consisteix bàsicament a trobar l'equilibri perfecte entre la simplicitat del model i la fidel representació de la realitat. I és que els models s'utilitzen per simular situacions hipotètiques, ja que ens permeten anar més enllà de la realitat, i poder extrapolar els resultats obtinguts al món real, arribant a conclusions pràctiques.

En aquest apartat m'he volgut fixar en els aspectes més criticables dels models i que s'haurien de tenir en compte a l'hora d'interpretar els resultats obtinguts i d'extrapolar-los a la realitat.

La primera mancança, i potser la més significativa, és alhora la més evident, ja que per tal de poder elaborar els models, he hagut de reduir l'ecosistema dels individus, només tenint en compte les relacions que tenen lloc a l'institut. En el món real, però, els agents no viuen entre aquestes quatre parets, sinó que també es relacionen amb les seves famílies, els seus amics, els seus veïns, etc.

Una segona mancança, en aquest cas referida al model basat en la mobilitat dels agents, és justament la mobilitat d'aquests a les hores del pati. I és que com ja s'ha explicat anteriorment, durant les hores d'esbarjo els individus es mouen de forma totalment aleatòria, de manera que tothom pot mantenir contactes amb pràcticament tothom. Segons la meva llarga experiència, però, puc assegurar que la realitat no és aquesta, ja que a les hores de pati cadascú tendeix a agrupar-

* Ampliació d'aquest punt a l'annex 4.

se sempre amb els mateixos companys. Però representar aquest fet al model m'era pràcticament impossible pel meu desconeixement de les diferents amistats.

A més a més, tant el perímetre com l'àrea del pati al model, no es corresponen exactament amb el pati real.

Una tercera mancança és l'excessiva simplificació del model basat en la xarxa de contactes, ja que l'escenari ideal seria que cada alumne fos un node independent. Aleshores, però, el nombre d'enllaços s'eleva fins a centenars de milers, valors incapaços d'assimilar per un ordinador ordinari.

La darrera mancança que he volgut destacar és el fet que els resultats obtinguts amb les simulacions no s'han pogut comparar amb casos reals d'epidèmies que s'hagin propagat per l'institut. Per això no es pot saber en quina mesura els models que he creat són capaços de representar la realitat que s'esdevindria en un cas d'infecció.

5.5 Vies obertes d'investigació

En aquest darrer apartat del treball esmento algunes de les vies obertes d'investigació que els models permeten explorar, ja sigui seguint amb l'estudi de les epidèmies, o encetant nous escenaris.

Així doncs he diferenciat dues vies.

La primera consisteix a utilitzar els models per simular escenaris diferents dels de la propagació d'una epidèmia. Per exemple, he pensat que els podríem fer servir per dissenyar el millor pla d'evacuació possible, en cas que es produís un incendi. Per estudiar la propagació d'un rumor o d'una notícia. I fins i tot es podrien utilitzar per modificar la distribució de les aules, dels armariets i dels departaments de manera que l'institut fos el més eficient possible, reduint el desplaçament dels alumnes a l'hora de canviar d'aula.

La segona via consisteix a utilitzar els models per seguir estudiant la dinàmica de les epidèmies, amb noves hipòtesis.

En aquest treball, a l'hora realitzar les simulacions, els valors de les taxes de mortalitat, infectivitat i immunitat els he fixat de manera arbitrària, per veure quin desenvolupament seguia l'epidèmia. Per això, el que resultaria interessant d'investigar seria calcular els valors mínims i màxims d'aquestes taxes, necessaris perquè l'epidèmia adoptés comportaments diferents.

També es podrien realitzar simulacions de la propagació d'epidèmies molt diferents a la grip, com podria ser el cas d'una malaltia infecciosa que es transmetés de persona a persona mitjançant un vector, com per exemple un mosquit.

Notes

1. World Health Organization (WHO). Fact sheet number 310. *Top 10 causes of death*. [En línia] <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs310/en/>
2. Taubenberger JK, Morens DM. *1918 influenza: the mother of all pandemics*. *Emerg Infect Dis*. 2006 gener [En línia]. [Consulta: 15-7-14]. <http://dx.doi.org/10.3201/eid1209.050979>
3. Department of Molecular Virology and Microbiology. Baylor College of Medicine. *Infectious Diseases*. [En línia] [Consulta: 11-7-14]. <https://www.bcm.edu/departments/molecular-virology-and-microbiology/id>
4. World Health Organization (WHO). Fact sheet number 103. *Ebola virus disease*. [En línia]. [Consulta: 29-8-14]. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs103/en/>
5. World Health Organization (WHO). Global Alert and Response (GAR) publications. *Ebola Response Roadmap*. [En línia]. [Consulta: 29-8-14]. <http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/131596/1/EbolaResponseRoadmap.pdf?ua=1>
6. Viquipèdia. *Epidèmia*. [En línia] [Consulta: 13-7-14]. <http://ca.wikipedia.org/wiki/Epid%C3%A8mia>
7. Martin PMV, Martin-Granel E. *2,500-year evolution of the term epidemic*. *Emerg Infect Dis*. 2006 juny [Consulta: 5-7-14]. <http://dx.doi.org/10.3201/eid1206.051263>
8. E. NELSON, Kenrad [et al.]. *Infectious Disease Epidemiology : Theory and Practice*. Chapter 1. *Early History of infectious Disease*. [En línia a Google books]. http://books.google.cat/books?id=-CW_2GMfeooC&pg=PA54#v=onepage&q&f=true
9. The Jenner Institute. *Edward Jenner (1749-1823)*. [En línia]. [Consulta: 7-7-14]. <http://www.jenner.ac.uk/edwardjenner>
10. JIMENO, Antonio i BALLESTEROS, Manuel. *Biologia 2 Batxillerat*. Barcelona: Grup Promotor Santillana, 2009.
11. VACHON, David. Department of Epidemiology. University of California, Los Angeles. *Doctor John Snow Blames Water Pollution for Cholera Epidemic*. [En línia] <http://www.ph.ucla.edu/epi/snow/fatherofepidemiology.html#ONE>
12. Wikipedia. *Miasma theory*. [En línia]. [Consulta: 1-9-14]. http://en.wikipedia.org/wiki/Miasma_theory
13. Viquipèdia. *Ignác Fülöp Semmelweis*. [En línia]. [Consulta: 10-7-14]. http://es.wikipedia.org/wiki/Ignacio_Felipe_Semmelweis
14. BLOWER, Sally. *An attempt at a new analysis of the mortality caused by smallpox and of the advantages of inoculation to prevent it*. Publicat online a Wiley InterScience (www.interscience.wiley.com)

15. PLEMMONS, William R. Department of Mathematics. University of Central Florida. *A mathematical study of malaria models of Ross and Ngwa. Chapter Three*. Florida, 2006. [En línia]. http://etd.fcla.edu/CF/CFE0001406/Plemmons_William_R_200612_MS.pdf
16. TASSIER, Troy. *SIR Model of Epidemics*. 2005. [En línia]. <http://origin.web.fordham.edu/images/undergraduate/economics/faculty/sir.pdf>
17. CALLAHAN, Paul. *What is the Game of Life?*. [En línia]. [Consulta: 4-8-14]. <http://www.math.com/students/wonders/life/life.html>
18. StarLogo on the web. *Getting started*. [En línia]. [Consulta: 4-8-14]. <http://education.mit.edu/starlogo/>
19. NetLogo. NetLogo Models Library. [En línia]. [Consulta: 4-8-14]. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/index.cgi>
20. WILENSKY, Uri. NetLogo User Manual. *Tutorial #1: Models*. [En línia]. [Consulta: 29-6-14]. <https://ccl.northwestern.edu/netlogo/docs/>
21. WILENSKY, Uri. NetLogo User Manual. *Tutorial #2: Commands*. [En línia]. [Consulta: 29-6-14]. <https://ccl.northwestern.edu/netlogo/docs/>
22. WILENSKY, Uri. NetLogo User Manual. *Tutorial #3: Procedures*. [En línia]. [Consulta: 29-6-14]. <https://ccl.northwestern.edu/netlogo/docs/>
23. Generalitat de Catalunya. Canal Salut. Grip Estacional. Descripció. [En línia]. [Consulta: 1-8-14]. <http://www20.gencat.cat/portal/site/canalsalut/menuitem.af261f715269a25d48af8968b0c0e1a0/?vgnextoid=b8635f552a2da210VgnVCM1000008d0c1e0aRCRD&vgnnextchannel=b8635f552a2da210VgnVCM1000008d0c1e0aRCRD&vgnnextfmt=default>
24. Generalitat de Catalunya. Canal Salut. Grip Estacional. Síntomes. [En línia]. [Consulta: 1-8-14]. http://www20.gencat.cat/portal/site/canalsalut/menuitem.af261f715269a25d48af8968b0c0e1a0/?vgnextoid=b8635f552a2da210VgnVCM1000008d0c1e0aRCRD&vgnnextchannel=b8635f552a2da210VgnVCM1000008d0c1e0aRCRD&vgnnextfmt=default#div_03
25. Generalitat de Catalunya. Canal Salut. Grip Estacional. Transmissió. [En línia]. [Consulta: 1-8-14]. http://www20.gencat.cat/portal/site/canalsalut/menuitem.af261f715269a25d48af8968b0c0e1a0/?vgnextoid=b8635f552a2da210VgnVCM1000008d0c1e0aRCRD&vgnnextchannel=b8635f552a2da210VgnVCM1000008d0c1e0aRCRD&vgnnextfmt=default#div_02
26. Wikipedia. *Influenza*. [En línia]. [Consulta: 2-8-14]. http://en.wikipedia.org/wiki/Influenza#cite_note-Carrat-68
27. Vymedic. *Human Influenza Types, Subtypes and Strains*. [En línia]. [Consulta: 2-8-14]. <http://www.vymedic.com/id56.html>

28. SALDAÑA, Joan. Informe especial Las matemáticas del planeta Tierra. *Modelos de propagación de enfermedades*. Publicat a Investigación y Ciencia, Octubre 2013. [En línia]. [Consulta: 5-8-14]. <http://ima.udg.es/~jsaldana/lyC-INFORME-October2013.pdf>

Bibliografia

Llibres

- JIMENO, Antonio i BALLESTEROS, Manuel. *Biología 2 Batxillerat*. Barcelona: Grup Promotor Santillana, 2009.
- E. NELSON, Kenrad [et al.]. *Infectious Disease Epidemiology : Theory and Practice. Chapter 1. Early History of infectious Disease*. (Segona edició). Boston: Jones and Bartlett Publishers, 2007.
- MIGUEL GUERRA, Luis. *La peste negra: Pronto, lejos y tarde*. Barcelona: Edhasa, 2006.
- SILVER, Nate. *The signal and the noise: The art and science of prediction*. London: Penguin Books, 2012.

Articles científics

- BLOWER, Sally. (2004, agost). "An attempt at a new analysis of the mortality caused by smallpox and of the advantages of inoculation to prevent it." *Reviews in Medical Virology*.
- Taubenberger JK, Morens DM. (2006, gener). "1918 influenza: the mother of all pandemics." *Emerging Infectious Diseases*.
- Martin PMV, Martin-Granel E. (2006, juny). "2,500-year evolution of the term epidemic." *Emerging Infectious Diseases*.
- SALDAÑA, Joan. (2013, octubre). "Informe especial: Las matemáticas del planeta Tierra. Modelos de propagación de enfermedades." *Investigación y Ciencia*.

Pàgines web consultades i vigents en el període d'elaboració del treball (maig 2014 a gener 2015)

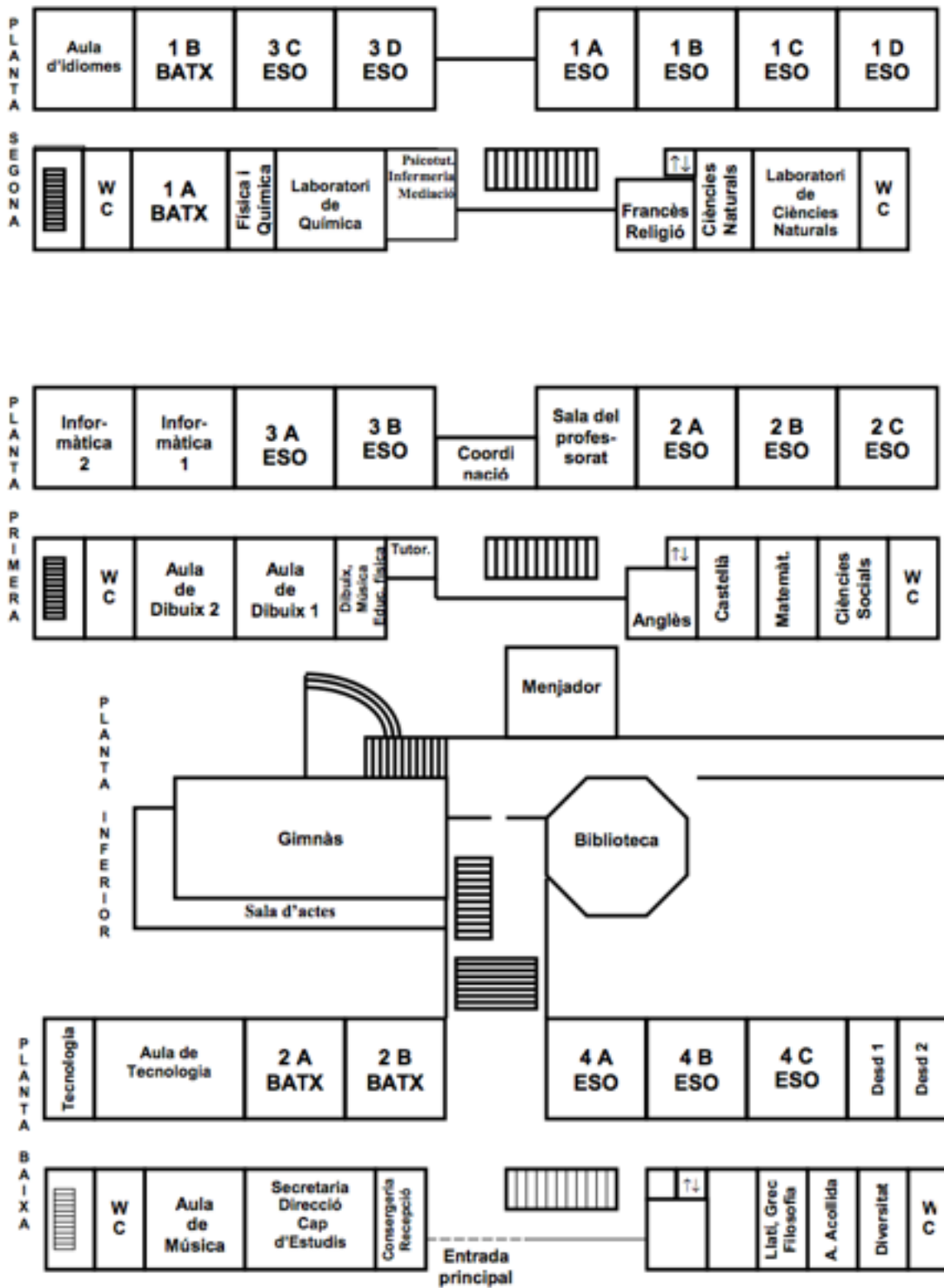
- <http://canalsalut.gencat.cat/ca/>
- <http://www.who.int/en/>
- <http://ca.wikipedia.org/wiki/Epid%C3%A8mia>
- http://en.wikipedia.org/wiki/Miasma_theory
- http://es.wikipedia.org/wiki/Ign%C3%A1c_Semmelweis

- http://en.wikipedia.org/wiki/Influenza#cite_note-Carrat-68
- <http://www.jenner.ac.uk/edwardjenner>
- <http://www.ph.ucla.edu/epi/snow/fatherofepidemiology.html#ONE>
- <http://www.math.com/students/wonders/life/life.html>
- <https://ccl.northwestern.edu/netlogo/>
- <http://www.vymedic.com/id56.html>
- <http://institutarnaucadell.cat/images/TRepidemies/>

ANNEXOS

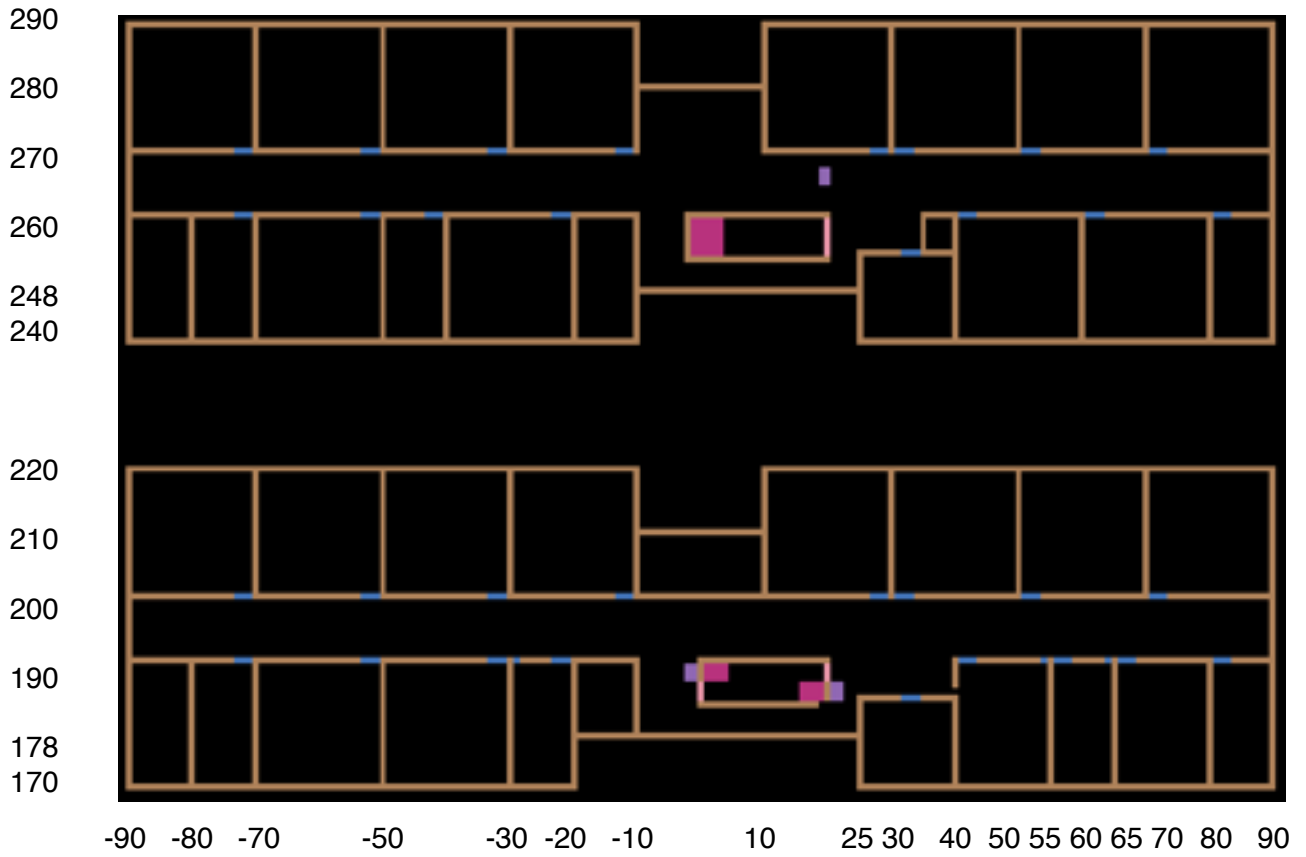
Annex 1: Plànols de l'institut

1.1 Distribució original de les aules

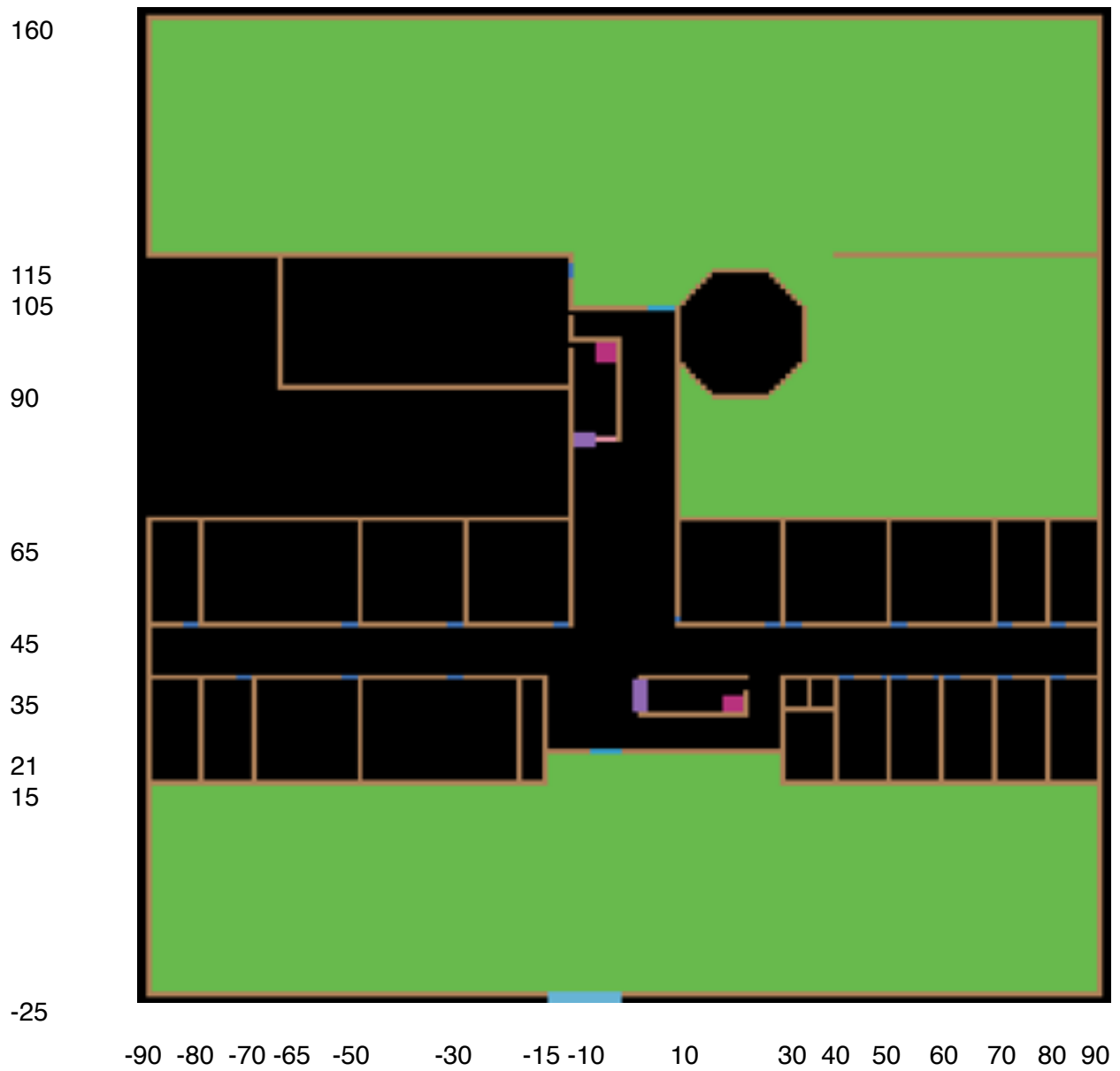


1.2 Plànol modificat amb mesures principals

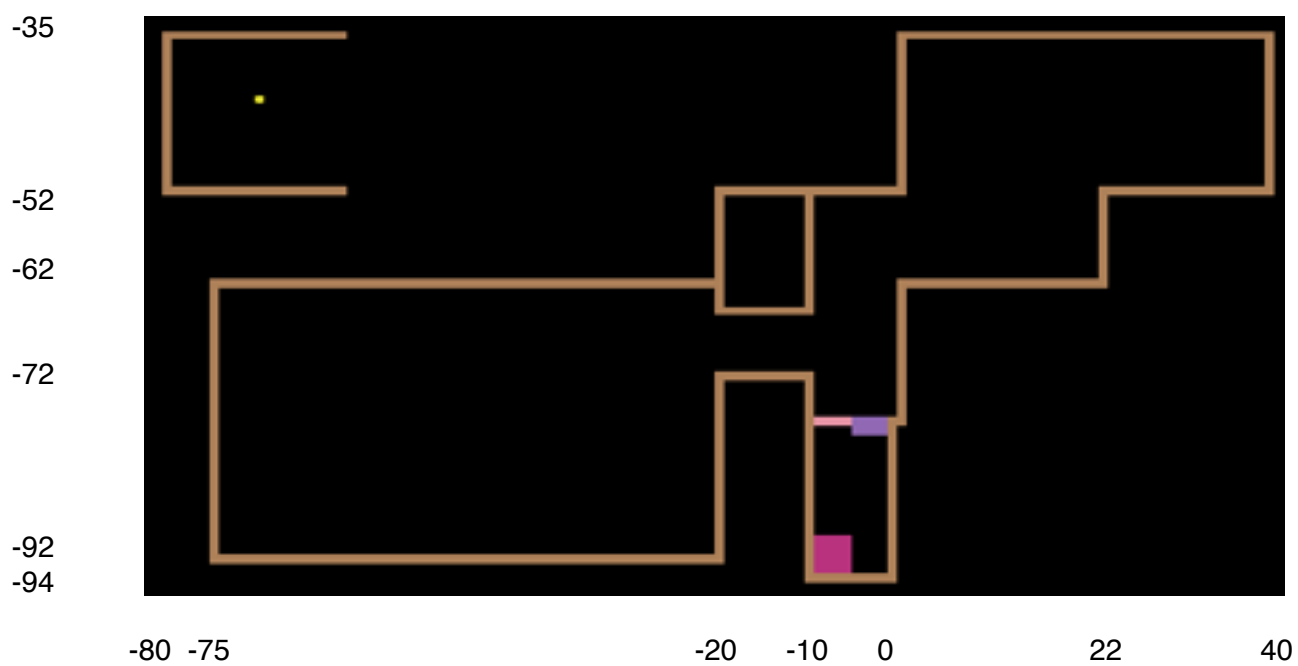
1.2.1 Planta segona i planta primera



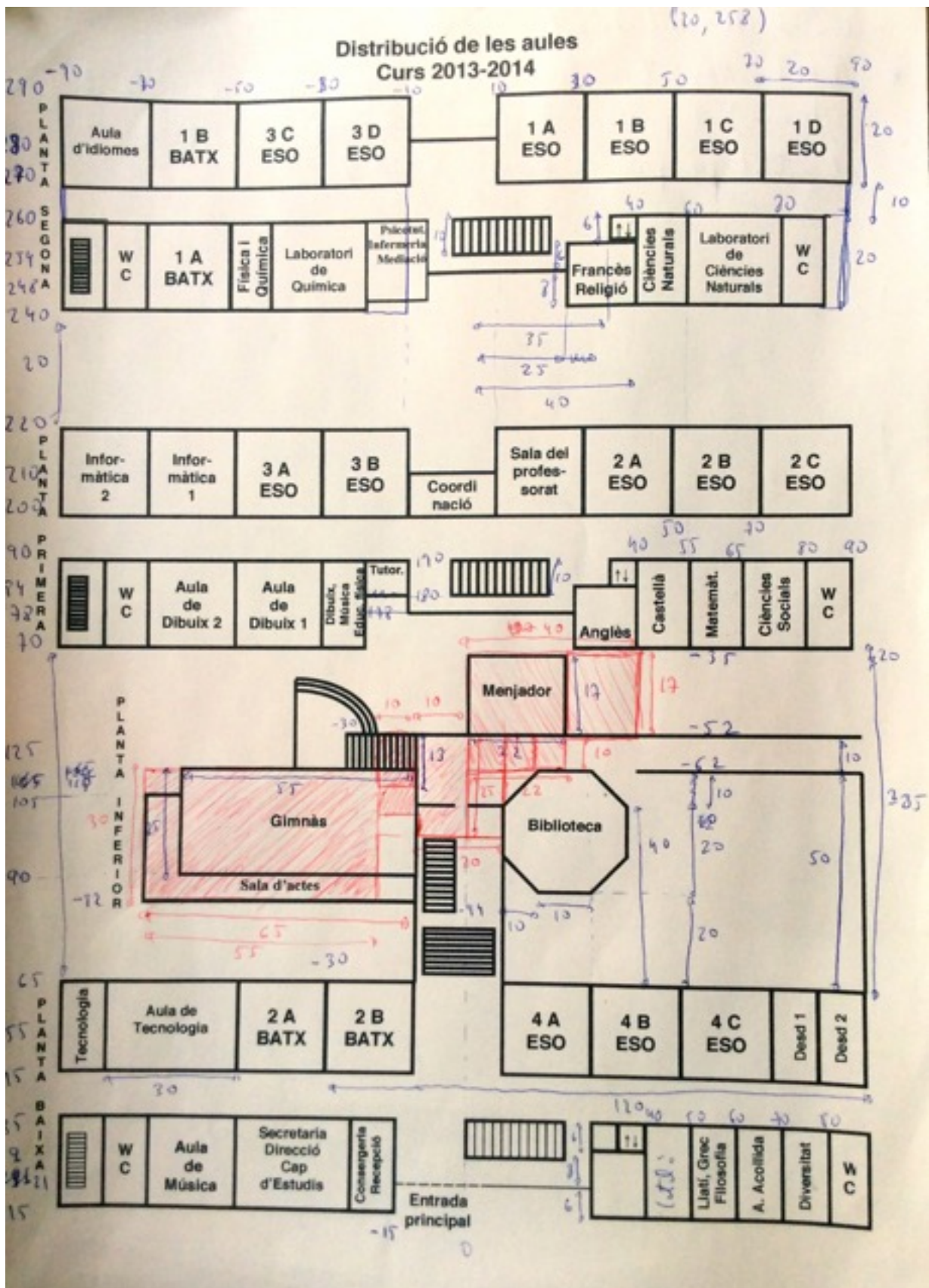
1.2.2 Planta inferior i planta baixa



1.2.3 Menjador, sala d'actes i casa

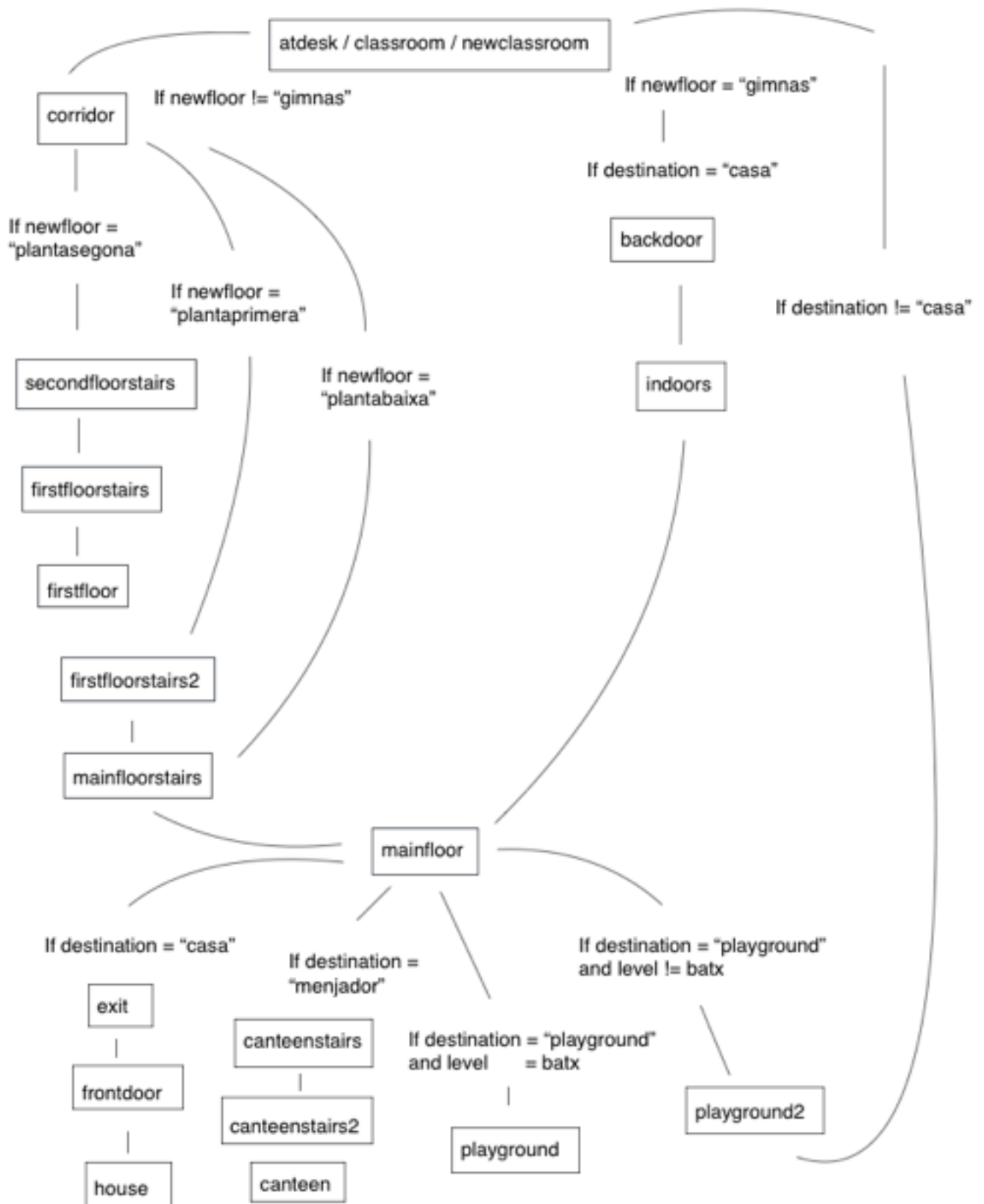


1.2.4 Plànol modificat a mà

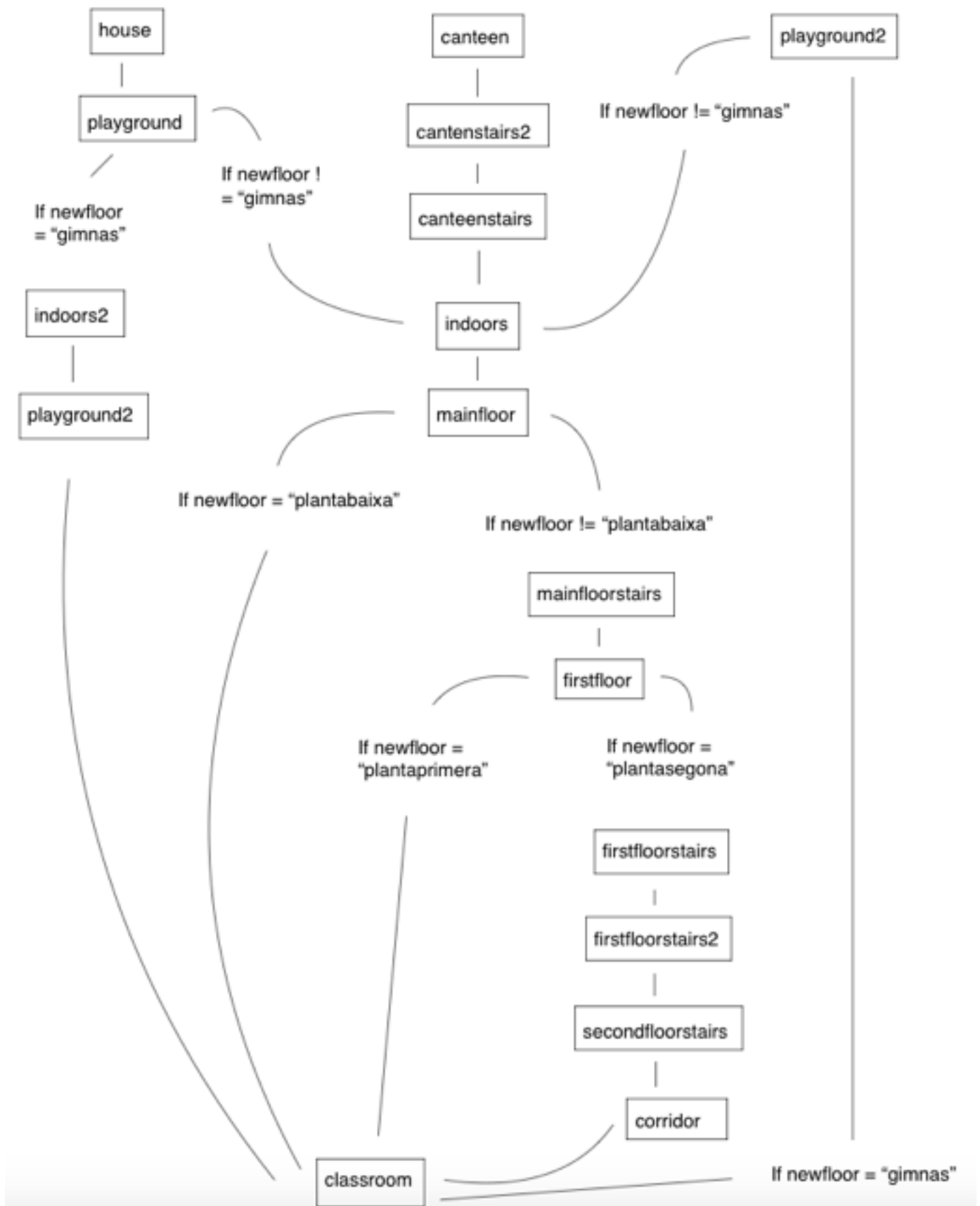


Annex 2: Diagrames del recorregut dels agents

2.1 Diagrama del procediment “playground”



2.2 Diagrama del procediment “class”



Annex 3: Correspondència “turtle”- professor/aula

Model basat en la xarxa de contactes

Turtle 0: Fernández1	Turtle 32: Bayle
Turtle 1: Costa	Turtle 33: Garcia
Turtle 2: Gràcia	Turtle 34: Cerezo
Turtle 3: Alsina	Turtle 35: Zumón
Turtle 4: Martí	Turtle 36: Morera
Turtle 5: Almirall	Turtle 37: Sangrà
Turtle 6: Llopis	Turtle 38: Centelles
Turtle 7: Benedicto	Turtle 39: Tomàs
Turtle 8: Narváez	Turtle 40: Puigmartí
Turtle 9: Coll	Turtle 41: Manso
Turtle 10: Arce	Turtle 42: Sáiz
Turtle 11: Fernández2	Turtle 43: Capellas
Turtle 12: Ceamanos	Turtle 44: Madrigal
Turtle 13: Txell	Turtle 45: classe 1Abatx
Turtle 14: Sabartes	Turtle 46: classe 1Bbatx
Turtle 15: Carbonell	Turtle 47: classe 3Ceso
Turtle 16: Díaz	Turtle 48: classe 3Aeso
Turtle 17: Cuartero	Turtle 49: classe 2Bbatx
Turtle 18: Bello	Turtle 50: classe 1Ceso
Turtle 19: Brasó	Turtle 51: classe 1Aeso
Turtle 20: Luelmo	Turtle 52: classe 1Deso
Turtle 21: Planas	Turtle 53: classe 1Beso
Turtle 22: Gozalbo	Turtle 54: classe 2Ceso
Turtle 23: Lloret	Turtle 55: classe 2Beso
Turtle 24: Huercio	Turtle 56: classe 2Aeso
Turtle 25: Palomés	Turtle 57: classe 3Beso
Turtle 26: López	Turtle 58: classe 3Deso
Turtle 27: Muñoz	Turtle 59: classe 4Beso
Turtle 28: González	Turtle 60: classe 4Ceso
Turtle 29: Serrano	Turtle 61: classe 4Aeso
Turtle 30: Colomer	Turtle 62: classe 2Abatx
Turtle 31: Gómez	

Annex 4: L'aparició d'una epidèmia

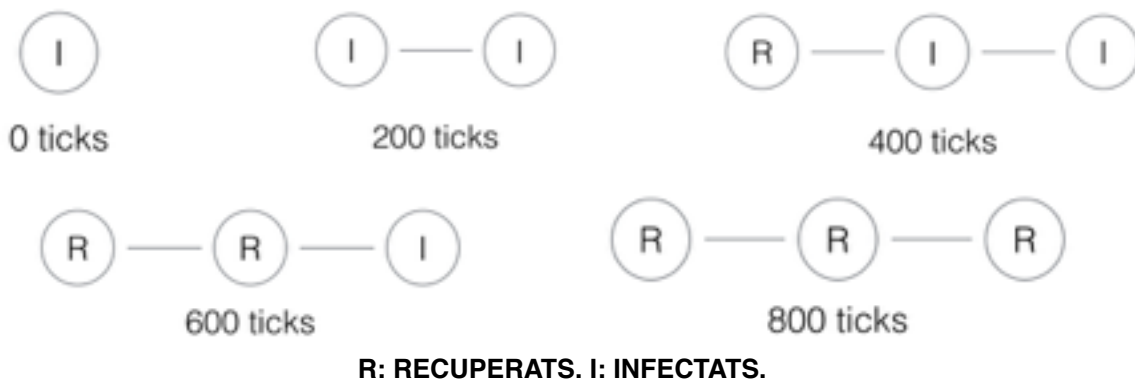
4.1 Exposició de l'experiment

En aquest apartat parteixo del segon punt de les conclusions de la comparació del desenvolupament de l'epidèmia en els dos models (punt 5.3), en el qual comento que en el primer model, encara que la probabilitat de transmetre la malaltia sigui d'un 2%, aquesta se segueix propagant i acaba esdevenint endèmica. Però en el segon model, si situem la infectivitat també al 2%, és pràcticament impossible que el virus es propagui.

És per això que m'ha semblat interessant esbrinar si existeix algun valor de la taxa d'infectivitat, a partir del qual puguem considerar, mitjançant l'observació d'un canvi en el comportament de la propagació del virus, l'aparició d'un brot epidèmic.

Per fer-ho, primer hem de determinar quan considerem que sorgeix un brot epidèmic en el model basat en la xarxa de contactes. Així doncs, he considerat que n'apareix un quan el virus es transmet entre tres o més nodes.

Perquè l'anàlisi dels resultats fos més simple, en lloc de comptar el nombre de nodes que s'han infectat a cada simulació, m'he fixat en el nombre de ticks transcorreguts. I com que el virus es transmet cada 200 ticks i un individu es recupera cada 400 ticks, les simulacions que superin els 600 ticks seran aquelles en què la infecció s'hagi propagat entre tres nodes o més, tal com es mostra en el següent diagrama.*



En canvi, si les simulacions no superen els 600 ticks, significa que el virus només s'ha propagat entre dos nodes i que per tant no pot ser considerat un brot epidèmic, tal com es mostra en el següent diagrama. Tot i que sempre és possible que en una transmissió la infecció es propagui per dos o més nodes alhora, com que fixem taxes d'infectivitat tan baixes, la probabilitat que això succeeixi és petitíssima.

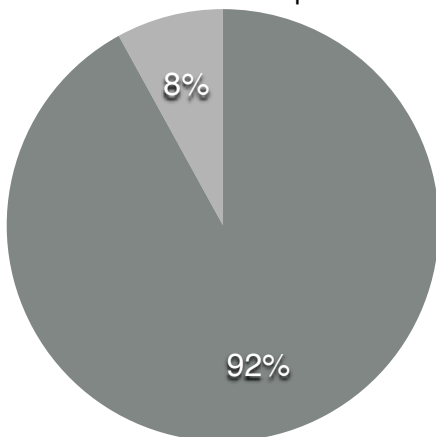
* Cal recordar que les simulacions s'aturen quan ja no queden individus infectats.



Per comprovar si realment existeix un valor de la taxa d'infectivitat a partir del qual s'observa un canvi de tendència pel que fa a les probabilitats de l'aparició d'un brot epidèmic, he plantejat 6 escenaris diferents, situant les taxes d'infectivitat al 2%, 4%, 6%, 8%, 10% i 12%. Per cada un d'aquests escenaris, he realitzat 25 simulacions, diferenciant les que superaven els 600 ticks de les que no ho aconseguen. Els resultats obtinguts s'observen en els següents gràfics de sectors:

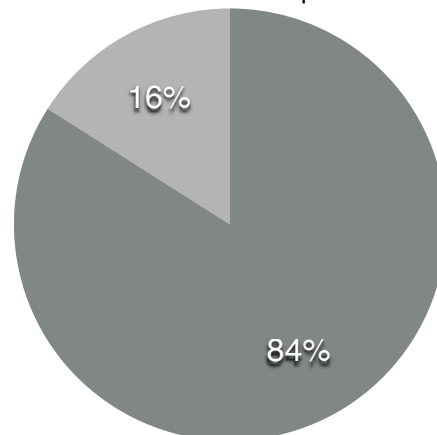
Escenari de la infectivitat al 2%:

- Simulacions sense brot epidèmic: 23/25
- Simulacions amb brot epidèmic: 2/25



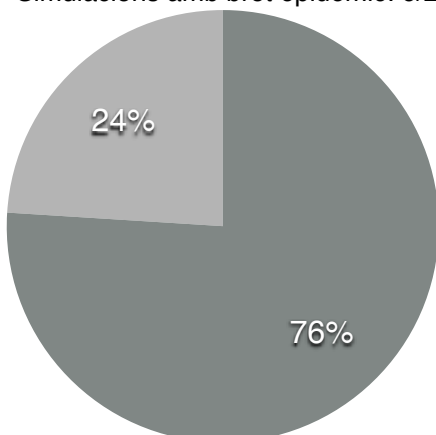
Escenari de la infectivitat al 4%:

- Simulacions sense brot epidèmic: 21/25
- Simulacions amb brot epidèmic: 4/25



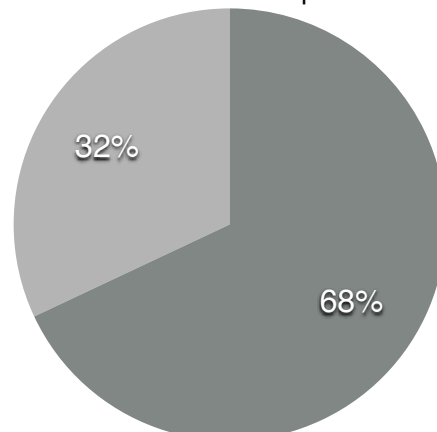
Escenari de la infectivitat al 6%:

- Simulacions sense brot epidèmic: 19/25
- Simulacions amb brot epidèmic: 6/25



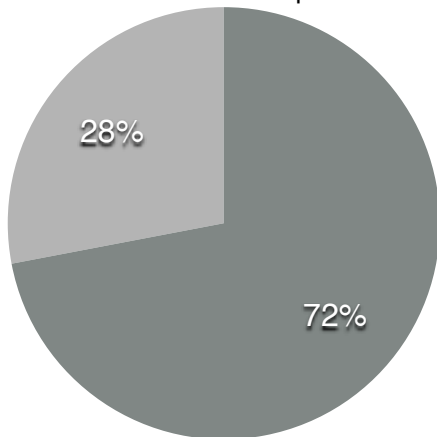
Escenari de la infectivitat al 8%:

- Simulacions sense brot epidèmic: 17/25
- Simulacions amb brot epidèmic: 8/25



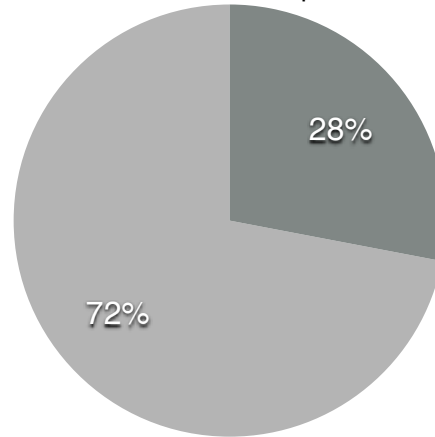
Escenari de la infectivitat al 10%:

- Simulacions sense brot epidèmic: 18/25
- Simulacions amb brot epidèmic: 7/25



Escenari de la infectivitat al 12%:

- Simulacions sense brot epidèmic: 7/25
- Simulacions amb brot epidèmic: 18/25



4.2 Comentari dels resultats obtinguts

Un cop realitzades les 25 simulacions de cada un dels escenaris, podem observar clarament que a mesura que augmentem la taxa d'infectivitat, el nombre de simulacions que superen els 600 ticks és més alt i per tant la probabilitat de l'aparició d'un brot epidèmic creix.

Així doncs, veiem que en els escenaris del 2%, 4%, 6% i 8%, la probabilitat que el virus es propagui augmenta de forma gradual. En l'escenari del 10%, però, s'aprecia una lleugera disminució respecte a la tendència creixent. I en l'escenari del 12% és on s'observa el gran canvi, ja que es passa d'una situació on la probabilitat de l'aparició d'un brot epidèmic és del 28%, a una altra on aquesta probabilitat és del 72%.

4.3 Conclusió

Els resultats de les simulacions ens han mostrat que el valor de la taxa d'infectivitat a partir del qual passem d'un escenari on difícilment apareixeria una epidèmia, a un altre contrari a l'anterior, on fàcilment sorgiria un brot epidèmic, es tracta d'un nombre situat entre el 10% i el 12%.

Per tant, podem concloure aquest apartat, afirmant que en el model de la xarxa de contactes, el fet que una epidèmia es propagui o que no ho faci, està estretament relacionat amb el valor de la taxa d'infectivitat. Concretament, si aquest valor és igual o menor al 10%, l'epidèmia difícilment es propagarà entre tres o més individus.

Annex 5: Codis dels procediments principals

5.1 Fragment del codi amb l'algorítme central

```

to go

  foreach timetable
    [

      let firsthour (item 0 ?)
      set studentsschedule (item 1 firsthour )
      studentsubication
      set professorsschedule (item 0 firsthour )
      professorsubication
      ask turtles [set location "house" setxy -70 -42]
      repeat hour
        [class
          tick
        ]
      foreach ?
        [ ifelse ? = break
          [ havebreakfast
            repeat hour
              [ playground
                update-epidemia
              ]
            repeat hour
              [class
                update-epidemia
              ]
          ]
        [
          set studentsschedule ( item 1 ?)
          studentsubication
          set professorsschedule (item 0 ?)
          professorsubication
          repeat hour
            [leaveclass
              update-epidemia
            ]
        ]

      ]

      ]

      gohome
      repeat hour
        [ playground
          tick
        ]

      tick
    ]

end

```

5.2 Fragment del codi de la ubicació del alumnes

```

to studentsubication

  let x 0
  let y 0
  let primeralumne 0
  foreach studentsschedule
    [ let primeralumnex (item 0 ? )
      let primeralumney (item 1 ? )
      let portax (item 2 ? )
      let portay (item 3 ? )
      let destinationclass (item 5 ? )
      let destinationfloor ( item 4 ? )

      repeat 5
        [ while [ y < 6 ]
          [ ask turtle (y + x * 6 + primeralumne)
            [
              set deskx primeralumnex + x * 3
              set desky primeralumney - y * 3
              set previousdoorx doorx
              set previousdoory doory
              set doorx portax
              set doory portay
              set previousclass newclass
              set newclass destinationclass
              set previousfloor newfloor
              set newfloor destinationfloor
            ]

            set y y + 1
          ]
          set x x + 1
          set y 0
        ]
        set primeralumne primeralumne + 30
        set x 0
      ]

  ask turtles
    [ set location "classroom"
    ]
end

```

5.3 fragment del codi de la ubicació dels professors

```
to professorsubication
  let firstprofessor 0
  foreach professorsschedule
    [ let professorx (item 6 ?)
      let professory (item 7 ?)
      let portax (item 2 ?)
      let portay (item 3 ?)
      let destinationclass (item 5 ?)
      let destinationfloor ( item 4 ?)

      ask professor ( 540 + firstprofessor)
      [
        set deskx professorx
        set desky professory
        set previousdoorx doorx
        set previousdoory doory
        set doorx portax
        set doory portay
        set previousclass newclass
        set newclass destinationclass
        set previousfloor newfloor
        set newfloor destinationfloor
      ]
      set firstprofessor firstprofessor + 1
    ]
  ]
  ask professors
  [ set location "classroom"
  ]
end
```

Annex 6: Comparativa del model compartimental i el model SIR

6.1 Característiques dels models

El model basat en la mobilitat dels agents, presenta les característiques d'un model compartimental. En aquests, la població està dividida en caselles, de tal manera que cada individu n'ocupa una, i per tant, només pot estar en contacte amb les caselles que l'envolten.

A l'institut, cada grup d'alumnes està a la seva aula, i dins d'aquesta, cada alumne té la seva taula, és a dir, el seu lloc fix. Així doncs, durant les hores de classe, els alumnes només poden estar en contacte amb els seus companys més propers, tal com passa en els models compartimentals.

Tot i això, en el model que ha estat desenvolupat, també s'ha definit un altre tipus de comportament, corresponent al que presenten els alumnes quan no estan dins les seves aules i es mouen pel pati. En aquest, els diferents agents es poden desplaçar lliurement per tot l'espai de color verd delimitat pel perímetre de l'institut, i ho fan de forma aleatòria. L'única condició és que els alumnes de batxillerat i els de l'ESO van a patis diferents, per tant no coincideixen en hores d'esbarjo.*

Així doncs, el model basat en la mobilitat dels agents combina dos moviments diferents, però tot i així el considerarem un model de compartiments.

El model SIR, com ja he explicat en el marc teòric, considera que tothom té les mateixes probabilitats de contactar amb tothom. A l'hora d'elaborar un model que representi aquesta consideració amb el NetLogo, hem de fer que els diferents agents es puguin moure aleatòriament per un món totalment obert. És la mateixa situació representada en les hores de pati de l'anterior model.

Actualment aquest model és el que utilitzen les grans agències i organitzacions com l'OMS per predir quina evolució podria seguir una epidèmia.

6.2 Realització de les simulacions

L'objectiu d'aquest apartat és poder comparar un model on els agents estan distribuïts en diferents compartiments o caselles, amb un altre on els agents es mouen amb total llibertat.

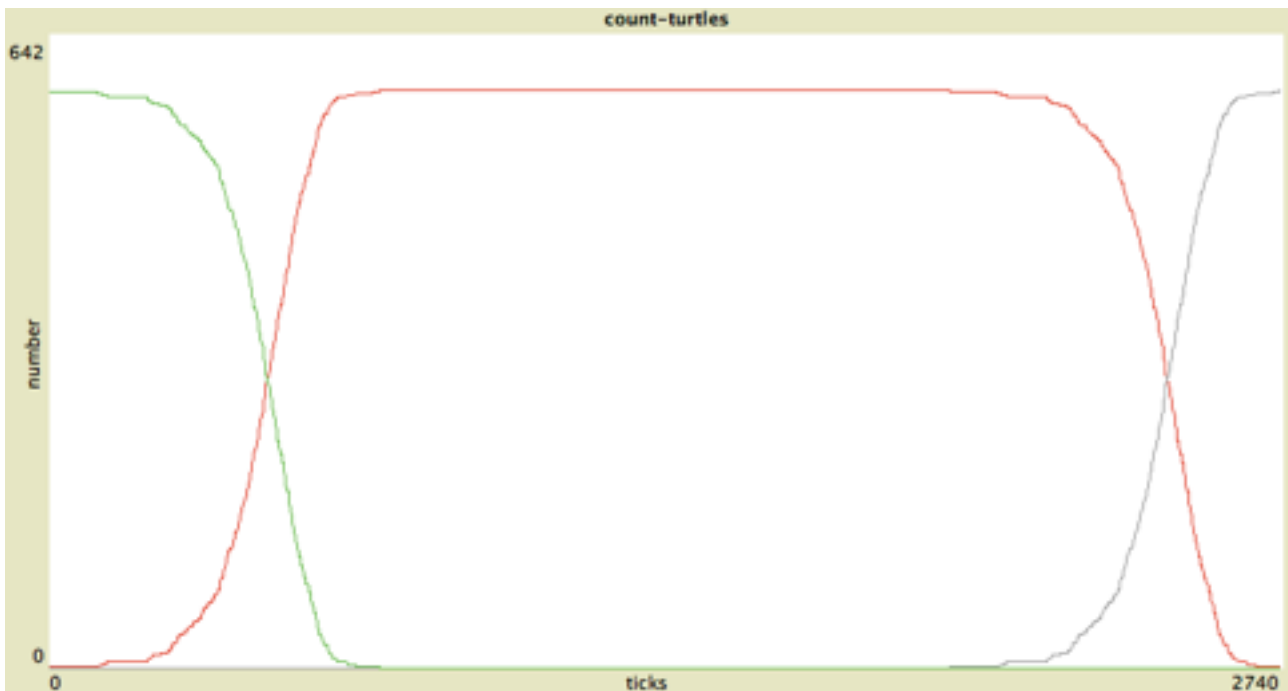
Per obtenir un resultat comparable, primer he hagut de fixar les mateixes característiques de l'epidèmia per als dos casos: la infectivitat se situa al 10%, la probabilitat d'esdevenir immune un cop recuperat és del 100%, la duració de l'estat infectat és de 2000 ticks, encara que un individu no pot transmetre la infecció fins transcorreguts 100 ticks des que esdevé infectat. I no hi ha període d'incubació.

* Poden coincidir si van al menjador.

Un cop realitzades les dues simulacions corresponents, a continuació s'exposen els seus gràfics per destacar les diferències més importants.



GRÀFIC DE LA SIMULACIÓ AMB EL MODEL COMPARTIMENTAL. GROCS: SUSCEPTIBLES, VERMELLS: INFECTATS, GRISOS: IMMUNES.



GRÀFIC DE LA SIMULACIÓ AMB EL MODEL SIR. VERDS: SUSCEPTIBLES, VERMELLS: INFECTATS, GRISOS: IMMUNES.

6.3 Comentari dels resultats obtinguts

En el primer cas, observem com en un primer moment, els infectats augmenten força lentament i només arriben a un màxim de 60. Aquesta dada ens indica que durant les dues primeres hores de classe, el virus només s'ha pogut transmetre per dues aules (hi ha 30 alumnes a cada una), que molt probablement han tingut un mateix professor que ha esdevingut el vector entre aules. A partir del tick 3000, és a dir, quan tots els agents surten al pati, s'aprecia un increment, ara sí, molt més pronunciat, com a conseqüència d'aquest moviment aleatori per un espai obert.

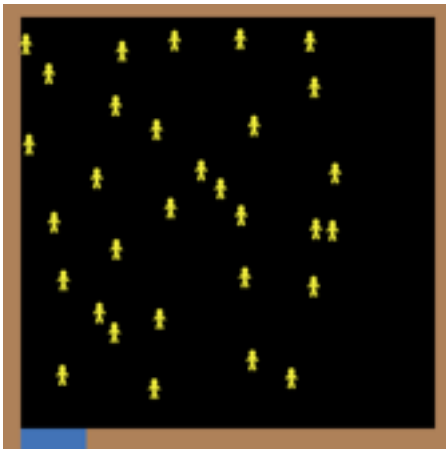
La concentració d'individus infectats no arriba al seu màxim per ben poc, però es manté en nivells molt alts durant un període de temps considerable, per posteriorment disminuir molt ràpidament.

En el segon cas el virus tarda menys temps en passar per tota la població, perquè des d'un inici els individus no estan disposats en aules, i tothom pot mantenir contactes amb tothom. Així doncs la concentració d'infectats augmenta molt ràpidament i arriba al seu màxim, on es manté fins que comença el període de recuperació, quan tots els individus esdevenen immunes.

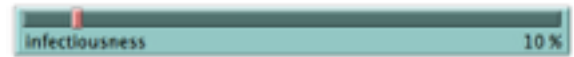
El fet més destacable és que quan en el model compartimental cada individu està encasellat en la seva taula dins la seva aula, el virus es transmet més lentament. En canvi, quan surten al pati, o tal com passa en el model SIR des d'un inici, el fet que els agents tinguin llibertat de moviments, fa que el virus es propagui molt més ràpidament per la població.

Annex 7: Fotografies dels models

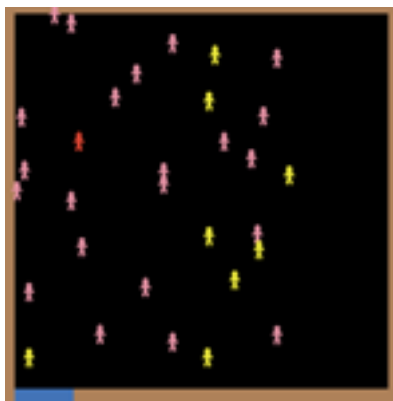
7.1 Models basat en la mobilitat dels agents



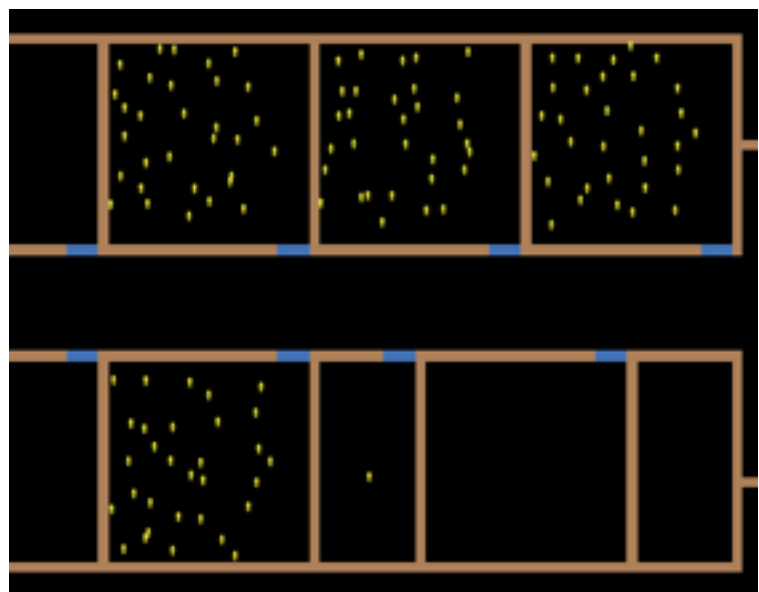
AULA



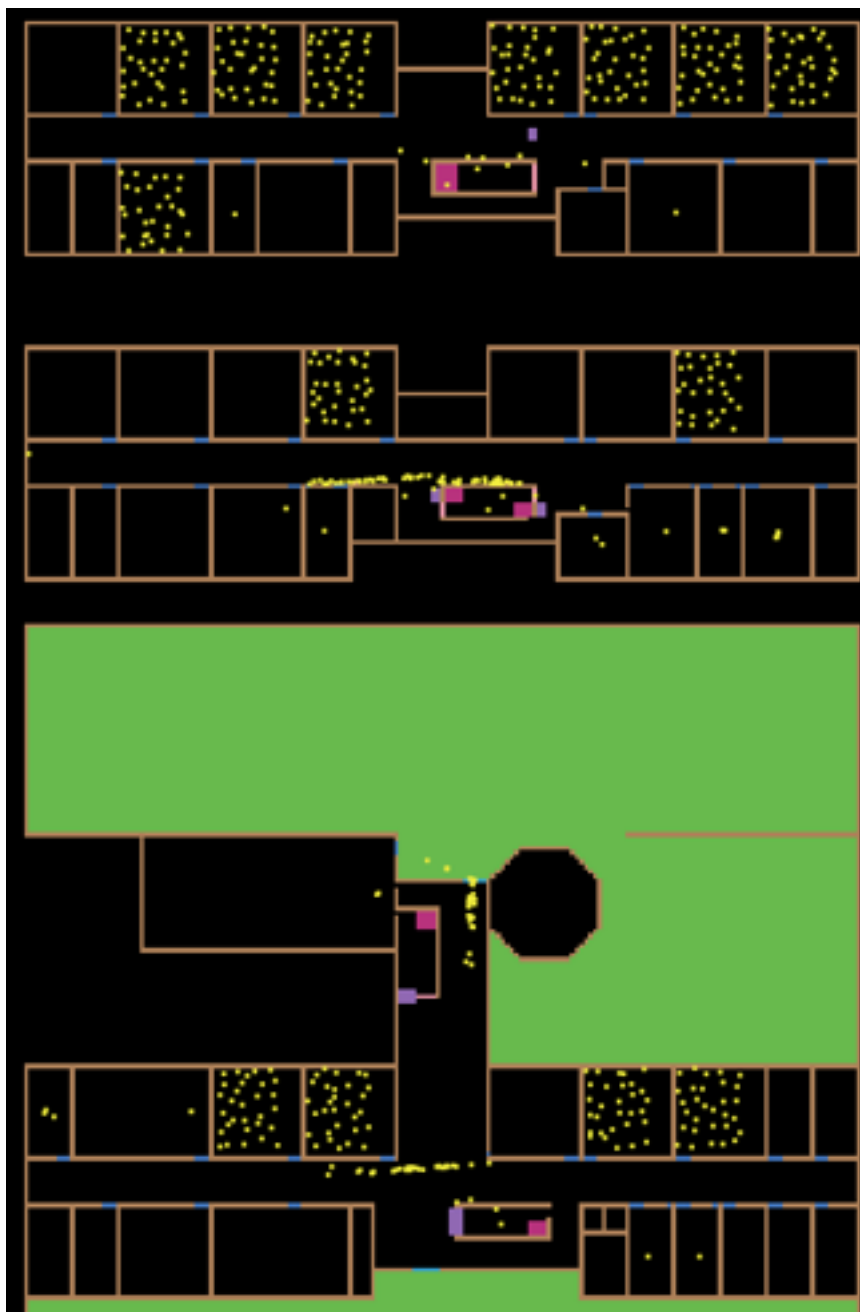
BARRES LLISCANTS DE LA INTERFÍCIE PER MODIFICAR LA INFECTIVITAT I LA PROBABILITAT DE RECUPERAR-SE.



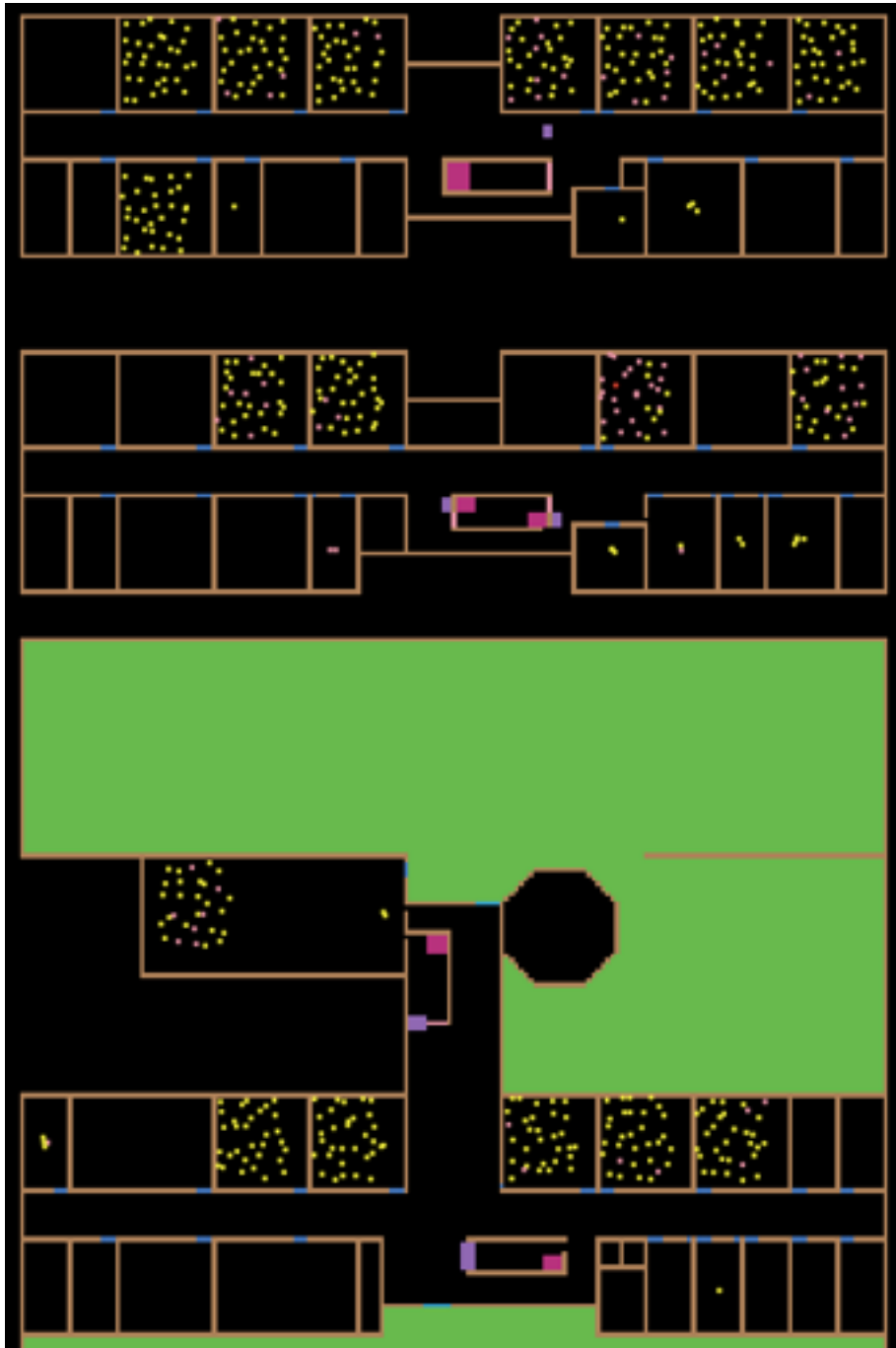
AULA AMB UN INDIVIDU MALALT I MOLTS EN EL PERÍODE DE LATÈNCIA.



3 AULES PLENES I UN DEPARTAMENT AMB UN PROFESSOR.

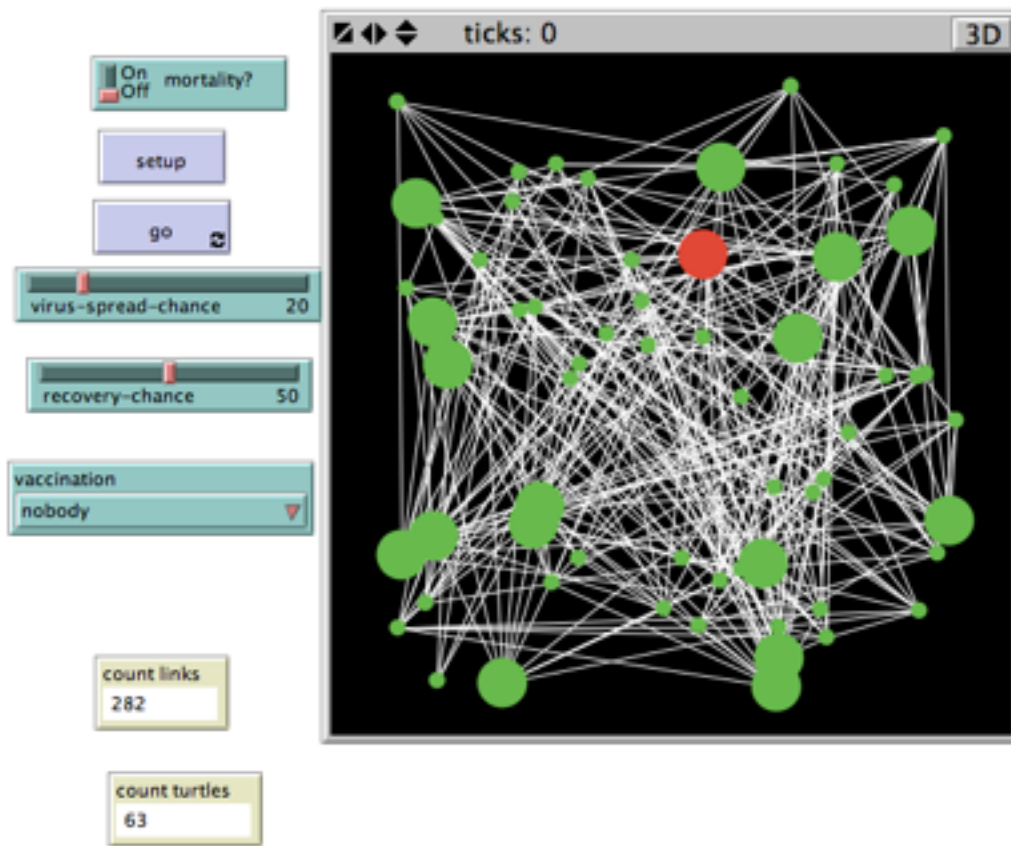


IMATGE DE L'INSTITUT DURANT UN CANVI DE CLASSE.

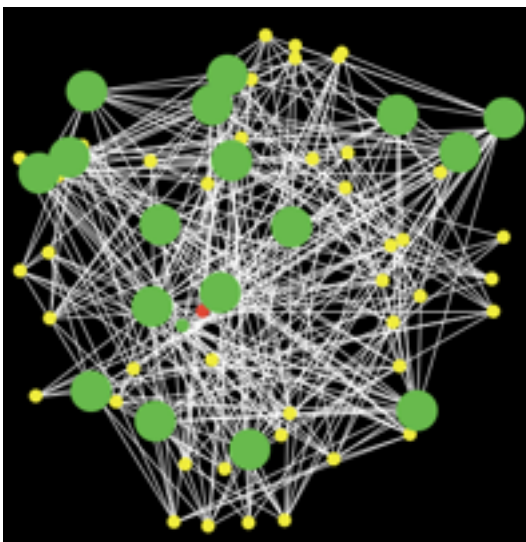


IMATGE DE L'INSTITUT DURANT LA PROPAGACIÓ DE L'EPIDÈMIA.

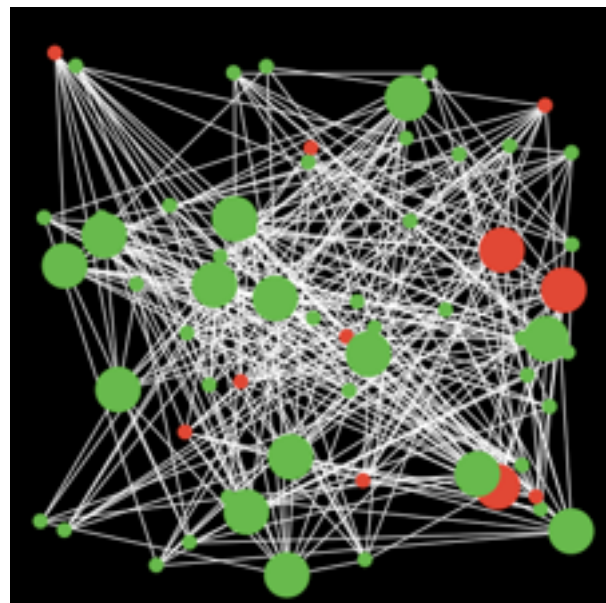
7.2 Model basat en una xarxa de contactes



IMATGE DE LA INTERFÍCIE COMPLETA.



IMATGE DEL MODEL AMB ELS PROFESSORS VACUNATS.



IMATGE DEL MODEL DURANT LA PROPAGACIÓ DE L'EPIDÈMIA.

Agraïments

M'agradaria mostrar el meu agraïment al meu pare, al meu tutor, al Centre de Recerca Matemàtica i al professor Tomàs Alarcón.