

2017

Intel·ligència Artifical Distribuida: Pràctica final – Mercat financer

PAU SANCHEZ VALDIVIESO I ALBERT ESPÍN ROMÁN

9.12.2017 | PROFESSOR: PATRICIO PETRUZZI

Índex

1. Introducció a la pràctica.....	3
2. Motivació i descripció del sistema simulat.....	3
3. Especificació dels protocols d'interacció entre agents.....	8
4. Descripció de la interfície dissenyada.....	13
Figura 8: pantalla de visualització de la simulació.....	16
5. Explicació de la implementació del programa.....	19
6. Experiments realitzats: descripció, anàlisi i conclusions.....	39
7. Treball futur: possibles millores i ampliacions.....	48
8. Conclusions finals.....	49

1. Introducció a la pràctica

Aquesta és la pràctica final de l'assignatura i es presenta com una oportunitat perquè l'alumnat apliqui els coneixements teoricopràctics assolits al llarg de l'assignatura en el disseny i implementació d'un sistema multiagent de major complexitat que els desenvolupats anteriorment.

En particular, es demana implementar un sistema multiagent consistent en un mercat de negociació, és a dir, un sistema en què agents amb objectius antagònics comercien amb uns productes determinats per a realitzar operacions de compravenda: obtenir el màxim benefici possible és l'objectiu principal dels agents implicats, que competeixen fent servir estratègies racionals de presa de decisions per tal d'acomplir-los.

La temàtica del mercat era de lliure elecció per l'alumnat, i s'ha decidit simular un mercat financer, és a dir, un mercat en què especuladors i empreses realitzen operacions de compravenda d'accions de les esmentades empreses, especulant sobre el preu d'aquests productes finances en un intent de maximitzar el patrimoni econòmic propi. Es vol fer èmfasi en el fet que el mercat implementat no és un reflex completament fidel d'un mercat financer real, sinó que s'han introduït certes modificacions, tant per simplicitat com per fomentar la originalitat del programa, que el distingeixen parcialment dels mercats reals d'aquest caire.

Als següents apartats es descriu el mercat financer implementat a l'entorn de desenvolupament Netlogo, s'analitzen els protocols d'interacció entre els agents que el formen, així com l'interfície i el codi del programa desenvolupat. Posteriorment s'analitzen les proves i l'anàlisi de dades extretes d'executar el sistema, que permeten presentar una sèrie de conclusions sobre el comportament dels agent que l'integren i el mercat com a entitat que els engloba.

2. Motivació i descripció del sistema simulat

L'elecció del mercat financer com a temàtica de la pràctica es basa en el fet que aquest tipus de mercat és un dels més competitius que existeixen, i on més complexes i interessants són les negociacions entre agents. El mercat financer plasma el caràcter antagònic que es demana pels agents del sistema de la pràctica, en tant que els seus objectius són el benefici econòmic propi, i duen a terme astutes maniobres de negociació per maximitzar-lo; el que guanyen uns ho perden o deixen de guanyar els altres. Si bé existeixen molts models de simulacions de mercats financers, s'ha optat per desenvolupar el sistema des de zero.

El producte amb què es comercia en aquest mercat són les accions d'empreses, un producte financer característic d'aquest tipus de mercats. Les accions es venen en paquets de quantitats generalment elevades, i es fixa un preu de transacció associat a aquest volum comercial, que depèn en bona mesura del desenvolupament de la negociació i de l'empresa titular de les accions.

Producte: paquet d'accions

Nom	Unitats	Tipus	Valor
Id empresa	-	NUM	[0, num-empreses - 1]
Quantitat	u.	NUM	[1, max-stock]
Preu	u. divisa	NUM	[1, max-preu]

Figura 1: esquema del producte del mercat financer, el paquet d'accions

El mercat financer desenvolupat compta amb dos tipus d'agents clarament diferenciats, que comercien amb el producte financer de les accions: els especuladors i les empreses. Tots dos parteixen al mercat amb una quantitat inicial de diners i el ferm objectiu prioritari d'intentar augmentar aquesta quantitat. No s'ha especificat cap divisa en particular, de manera que es considera que els diners es quantifiquen en unitats d'una divisa no determinada, que es podria particularitzar si es volgués identificar aquest mercat financer genèric amb una instància concreta dels mercats d'aquest tipus que existeixen a la realitat.

Si bé ambdós tipus d'agents, empreses i especuladors, tenen en comú l'objectiu de maximitzar el seu patrimoni, difereixen en els mitjans que poden fer servir per a aconseguir aquesta meta. Els especuladors parteixen de la situació inicial de no tenir cap acció de cap empresa però sí una quantitat inicial de diners, de manera que procedeixen a invertir part d'aquest patrimoni en la compra d'accions a les empreses, amb l'esperança de poder especular amb el seu preu i revendre-les més cares a altres especuladors; també poden, quan identifiquen altres agents amb accions, accedir a comprar-los accions a ells també, a un preu que considerin oportú perquè una eventual revenda posterior els aportí beneficis.

Per la seva banda, les empreses generen les seves accions i les venen de la manera que consideren més convenient per al seu benefici als altres agents. Estan capacitades per a generar tantes accions com vulguin per a la seva posterior distribució, però han de comerciar-les amb mesura per evitar una devaluació massa gran de les mateixes, que faci menys profitosa la seva venda a mig o llarg termini. Per a donar una certa variabilitat addicional al mercat, i assumint que les empreses de la simulació estan especialitzades en indústries i

serveis més enllà dels context financer, es modela la situació econòmica de les empreses en aquests mercats exteriors. Els seus resultats en aquests mercats es representen com un guany o una pèrdua econòmica que repercuteix en la seva forma d'actuar al mercat financer.

Precissament aquest fet de modelar mercats exteriors simula un aspecte propi dels mercats financers de la realitat, i és que estan influïts o connectats amb mercats exteriors, i els canvis d'un mercat poden fàcilment tenir repercussions en altres mercats, com els financers. S'ha limitat l'abast d'aquesta variabilitat per raons exteriors per no eclipsar el flux o activitat del mercat financer intern, de manera que els percentatges de fluctuació del patrimoni empresarial per causes externes es manté prou baix com per poder observar les tendències de compravenda d'accions internes i l'especulació de les accions sense un soroll extern excessiu.

A partir del que s'ha indicat, es pot deduir que al mercat els agents poden tenir dos rols diferents, comprador o venedor; els especuladors poden canviar de rol a cada negociació (poden comprar o bé vendre accions), mentre que les empreses actuen sempre com a venedores.

Un dels punts claus del mercat és el fet que el valor de les accions no està especificat, cap agent té la potestat d'establir-lo unilateralment. El valor real és fruit de l'especulació dels agents, tant especuladors com empreses, que analitzen les seves operacions de compravenda d'accions i treuen conclusions per tal d'intentar predir-lo. L'estimació del valor de les accions està per tant distribuït entre tots els agents del mercat: tots col·laboren amb els seus actes i prediccions a definir un valor estimat del preu individual de les accions de cada empresa (i una mitja global de totes), però cap d'ells coneix aquesta estimació global, i es limita a actuar en base a la seva predicció individual. A l'inici del mercat, s'assumeix un preu d'una unitat de diners per acció, però aquest valor fluctua des del primer moment a partir de les transaccions i les conclusions dels agents, com ja s'ha indicat.

Totes les transaccions comporten un pagament al mercat d'una petita quantitat fixa de diners, que es descompten al venedor, a més d'un 1% dels diners de la transacció. La part fixa de l'impost és important, ja que cap agent voldrà vendre res per sota d'aquell valor ja que perdria diners, de manera que si es fixés una part fixa molt elevada es podria arribar a paral·litzar el conjunt de les transaccions del mercat, ja que cap transacció seria profitosa per als venedors.

Es fàcil entendre que donada la naturalesa competitiva del mercat, i el principi de transaccions de diners que el regeix, uns agents guanyin diners i altres en perdin, però que el mercat sempre guanyarà, ja que se li abonaran transaccions. Com a component d'originalitat, s'ha decidit introduir una manera en què el mercat pot retornar part dels diners que recapta als seus agents, en particular als especuladors, com a part econòmicament més feble

(les empreses tenen més diners d'inici que els especuladors). Si paguen una petita quantitat de diners, els especuladors obtenen accés a un sorteig del mercat que recompensa amb un percentatge elevat dels ingressos totals del mercat a l'especulador que, per atzar, surti escollit al sorteig. Guanyar el sorteig pot suposar un notable augment de capital per al guanyador.

Pel que fa a l'entorn del mercat, s'ha decidit que fos un terreny bidimensional de dimensions quadrades en què les empreses es trobessin fixes en posicions determinades de forma aleatòria, a les quals els especuladors es poguessin apropar per tal de fer negoci. En aquest sentit, els especuladors són la part del mercat capaç d'iniciar les comunicacions, i una vegada les han iniciat els altres agents els poden respondre, i mantenir un flux de negociació fins que es tanqui un acord de transacció o un dels dos desisteixi. Aquestes són negociacions bilaterals, entre dos agents, que es comuniquen per torns per a tal de fer operacions.

Els especuladors es mouen lliurement pel mercat, però no tenen coneixement de tot el que succeeix en ell, sinó que només tenen constància dels altres agents que hi ha prop seu; el patrimoni dels agents o les accions que posseeixen és una informació oculta als altres agents, que només en circumstàncies excepcionals es comunica. El mercat incentiva la compra d'accions per part dels especuladors expandint el seu radi de percepció de l'entorn local en què es troben de forma proporcional al seu nombre d'accions; aquells que més en tenen són capaços de veure més enllà, i de poder interactuar amb més agents del mercat. El mercat financer compta amb un producte oficial, les accions, i un valor que es vol maximitzar per part dels agents, els diners, de manera que per incentivar un cert equilibri entre ambdós valors, accions i diners, s'ha considerat oportú donar aquest avantatge a aquells que comprin més accions, afavorint les seves possibilitats de comunicació i el seu interès futur en adquirir més accions, per a una eventual revenda posterior.

Una altra manera en què els especuladors poden augmentar el seu radi de percepció de l'entorn és formant coalicions de dos especuladors, que aporten totes les seves accions i diners a la coalició, per negociar com una unitat amb altres agents i empreses. Els membres d'una coalició recuperen un percentatge proporcional als diners i accions aportades inicialment quan la unió es trenca. En les coalicions, per raons purament pràctiques, es tria un representant o mestre de la coalició que serà el portaveu de la mateixa en les negociacions amb altres agents; l'altre membre de la coalició actua com a subordinat, i delega la seva veu al mestre per evitar redundàncies comunicatives.

Els agents d'un mateix grup, especuladors o empreses, poden tenir tendències de negociació i actuació diferents segons varis factors que forgen la seva naturalesa. Els especuladors tenen un coeficient de risc que s'inicialitza a

l'atzar per a cada especulador entre un valor mínim i màxim; és un valor entre 0 i 1, influït per la naturalesa de l'agent, que modela la seva tendència a arriscar en operacions de compravenda, és a dir, en estar disposat a fer transaccions que impliquin grans quantitats de diners i accions si estima que l'operació pot resultar profitosa per als seus interessos. Un coeficient de risc proper a 0 fa que l'agent es comporti de forma conservadora; si en canvi el valor és proper a 1 tendirà a ser arriscat; un valor proper a 0.5 farà que es comporti de forma intermitja. Aquest factor tendeix a definir tres comportaments típics, en definitiva tres tipus d'especuladors:

- Especulador arriscat: està disposat a fer grans inversions o vendre grans quantitats d'accions si creu que té una bona oportunitat de negoci; com que mou grans volums d'accions o diners en cada operació, sembla raonable dir que tendirà a guanyar molt o bé perdre molt en les operacions que realitza, de manera que el seu patrimoni podria fluctuar amb facilitat.
- Especulador conservador: prefereix operar amb una part petita del seu patrimoni d'accions i diners quan realitza operacions de compravenda, no és pas arriscat; com que opera amb percentatges petits del seu patrimoni, sembla raonable dir que aquest no es veurà fortament afectat per una sola operació de compravenda.
- Especulador intermig: a vegades vendrà o comprarà de forma arriscada i d'altres de forma més conservadora; el seu devenir resulta més difícil de preveure a priori.

Els especuladors tenen també un coeficient de cooperació, que regula la seva tendència a sol·licitar a altres agents la formació de coalicions, i també quant esperaran abans de voler-les trencar (com menor sigui el factor de cooperació, menys tendiran a durar les coalicions, i viceversa). Tot i això, hi ha altres factors que indueixen als especuladors a voler formar coalicions, com per exemple la constatació que tenen pocs diners i moltes accions, i voldrien tenir una major visibilitat per a poder-les vendre.

Les empreses, per la seva banda, tenen un coeficient de preu elevat, un valor entre 0 i 1, influït per la naturalesa de l'agent, que modela la seva tendència a mantenir elevat el preu de les accions que ven. Un coeficient de risc proper a 0 fa que l'agent sigui una empresa que ven barat; si en canvi el valor és proper a 1 tendirà a ser una que ven car; un valor proper a 0.5 farà que es comporti de forma intermitja. Distingim, doncs, tres tipus d'empreses:

- Empresa que ven barat: ven les seves accions a un preu individual barat, amb l'esperança d'aconseguir que li comprin grans quantitats d'accions.
-
- Empresa que ven car: ven les seves accions a un preu individual car, entenent que això pot comportar no vendre tantes accions com podria si fossin més barates.

-
- Empresa intermitja: cerca el màxim benefici econòmic variant el preu de venda d'acció i la quantitat a vendre com estimi més profitós.

3. Especificació dels protocols d'interacció entre agents

Els agents d'aquest mercat poden dur a terme dos tipus d'interaccions comunicatives: la negociació de compravenda d'accions (entre un especulador que assumeix el rol de comprador i una empresa o especulador, que actua de venedor) i la negociació de formació de coalició (entre dos especuladors). Abans de detallar com dur-les a terme, però, cal analitzar el context i les particularitats del del mercat financer en quant a comunicació entre agents de sistemes distribuïts, per entendre quina és la millor forma d'implementar els protocols de comunicació.

A la majoria de sistemes distribuïts els agents actuen de forma asíncrona, almenys parcialment, de forma que resulta difícil predir quan rebran i eventualment respondran un missatge que se'ls ha enviat, que ha de viatjar per un medi sovint irregular, com pot ser la xarxa d'internet. Aquests dos factors sovint compliquen el disseny de sistemes distribuïts que es puguin comunicar correctament i garantint que no es bloquejaren per esperes infinites i altres problemes.

Al sistema distribuït d'aquest mercat, però, aquests problemes no existeixen, o es redueixen a una dimensió trivial. El sistema d'execució de Netlogo es basa en ticks, unitats temporals. S'executa una sèrie de codi a cada tick, que implica que tots els agents actualitzin el seu estat segons les seves accions i la seva interacció amb l'entorn. A cada tick tot el sistema se sincronitza: el sistema multiagent dóna veu a tots els agents durant el tick una única vegada, i cap d'ells podrà fer una nova execució fins que tots hagin estat actualitzats.

Aquesta configuració permet definir de forma senzilla el flux dels missatges comunicats seguint els protocols: cada agent processa a cada tick una llista de missatges, i pot omplir concurrentment amb altres agents la llista dels missatges que llegiran a la propera iteració, que passen a ser els missatges a processar el proper tick.

D'aquesta manera s'estableix un protocol de comunicació per torns. L'agent que vol iniciar la comunicació simplement escriu el missatge a la llista de missatges futurs de l'agent amb qui vol contactar, i té la garantia absoluta que l'altre podrà llegir-los a la propera iteració, i contestar si així ho vol. Per simplicitat, s'ha establert que un cop un agent inicia una negociació amb un altre, no atendra missatges de cap altre agent fins que hagi acabat la negociació amb el seu interlocutor actual.

Així, s'ha establert un protocol general de comunicació entre dos agents: el torn inicial, l'emissor inicia la comunicació amb una petició. Espera un torn per veure si el receptor respon, ja que només necessita un torn per processar el missatge i respondre si així ho desitja. Al següent torn, si l'emissor inicial ha rebut una resposta, pot ignorar-la (abortant la negociació), acceptar les condicions de transacció de la resposta o repetir el procés descrit. Si accepta les condicions de transacció, ordena al mercat executar la transacció, que afecta l'estat dels dos interlocutors. Aquesta acceptació és possible perquè quan un agent envia un missatge (sigui petició o resposta, com a oferta) ho fa amb unes condicions que ell accepta per a dur a terme una transacció, i que si l'altra part accepta ja es té el consentiment mutu per sol·licitar al mercat que, com a àrbitre de la negociació, executi l'acord que s'ha assolit. Si per contra una de les parts no vol comprometre's a cap acord, pot desistir immediatament de la comunicació. Això farà saber l'altra part (de forma implícita, en percebre que no s'ha respost) que l'altra part ha abandonat la comunicació. Això els allibera als dos automàticament (al torn després de constatar la falta de resposta de l'altra part) per a seguir actuant a l'entorn i iniciar noves comunicacions si així ho volen.

Protocol general de comunicació		Inicialment, $i = 0$ ("i" és el nombre de peticions enviades)
Iteració	Accions Agent A (inicia la comunicació)	Accions Agent B
0	Elaborar i enviar petició i-èssima	Si $i > 0$: Esperar (*)
1	Esperar	Si Agent A ha enviat petició: a) Ignorar (no respondre) [Fi comunicació] b) Acceptar termes [Mercat fa transacció] c) Elaborar i enviar resposta Sinó, si $i > 0$: [Fi comunicació]
2	Si Agent B ha enviat resposta: a) Ignorar (no respondre) [Fi comunicació] b) Acceptar termes [Mercat fa transacció] c) Repetir cicle [$i++$] [Iteració 0] Sinó: [Fi comunicació]	Si ha enviat oferta: Esperar

(*) si $i == 0$, l'Agent B encara no és conscient de la comunicació i per tant encara no participa en ella

Figura 2: Protocol general de comunicació entre dos agents

Aquesta solució senzilla té grans avantatges, ja que limita el nombre de missatges possibles: només s'utilitzen missatges proactius, els de dessistiment són implícits, ja que equivalen a deixar de comunicar-se; no cal establir cap temps d'espera major (timeout), ja que el sistema de ticks garantia sincronisme, fa evident que si transcorregut un torn l'altra part no ha respost no és mai perquè no hagi pogut, sinó perquè no ha volgut, i es pot deixar d'esperar-la.

El fet que els missatges impliquin acceptació dels termes comunicats als missatges de resposta també estalvia el sistema de la necessitat de distingir entre missatges de pura negociació i missatges de tancar acords; els agents saben quan s'ha tancat un acord quan just al torn següent d'haver enviat una resposta amb unes condicions que accepten el mercat accedeix als seus atributs i els modifica d'acord amb els termes indicats; a partir de llavors no hi ha més comunicació amb l'altra part (ja s'ha realitzat l'operació), de manera que no cal negociar res més.

Ara que ja s'ha explicat el protocol general de comunicació, es pot detallar les particularitats dels diferents casos d'aplicació del protocol: negociar la compravenda d'accions i formar coalicions. Com que aquests casos d'ús del protocol especifiquen de forma pròpia els postulats genèrics del protocol general, podríem dir que són instàncies del protocol general, o fins i tot protocols de comunicació propis, que parteixen del model genèric.

La comunicació de compravenda comença amb un agent enviant a un altre una proposta de compra (assumint el rol de comprador potencial) o bé una oferta de venda (assumint el rol de venedor potencial). Aquesta proposta inclou els tres termes necessaris per definir inequívocament una instància del producte del mercat financer, el paquet d'accions. Aquests tres termes són l'identificador de l'empresa representada a per les accions, la quantitat d'accions i el preu. En enviar la sol·licitud de compra o venda amb uns termes concrets, l'emissor està afirmant que dóna el seu vistiplau a una hipotètica transacció (compra o venda) amb aquests termes. El receptor, davant d'aquesta sol·licitud de compra o venda, té diferents opcions: pot negar-se a mantenir la comunicació (en aquest cas simplement cal no respondre); pot acceptar els termes i encarregar immediatament al mercat que realitzi la transacció (el comprador obté les accions de l'empresa especificada als termes, en la quantitat indicada, a canvi d'abonar l'import marcat pel preu acceptat al venedor, que perd les accions venudes); pot decidir modificar algun o varis aspectes dels termes de la negociació (empresa de les accions, quantitat d'accions o preu) i enviar una nova sol·licitud de compra o venda.

Protocol de compravenda

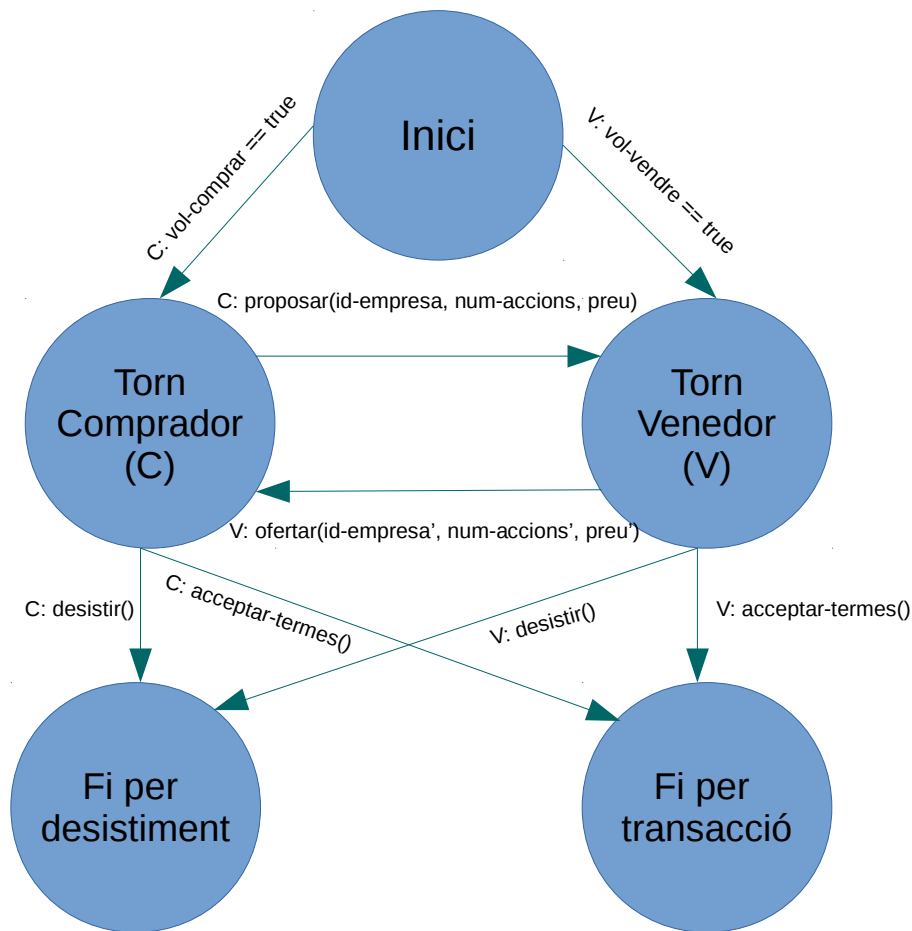


Figura 3: Protocol de compravenda d'accions entre dos agents (algun pot ser també una coalició)

El següent pseudocodi representa el flux que el protocol tindria si s'implementés en una institució electrònica, un dels tipus de sistemes multiagent per excel·lència. El sistema del mercat financer final no ha estat dissenyat com a institució electrònica, però com que el protocol de compravenda és el més complex que s'ha desenvolupat pot ser interessant analitzar com s'implementaria en una d'aquestes institucions. Com que les partícules il·locutòries d'aquestes formalitzacions acostumen a estar en anglès, es presenta el pseudocodi en anglès. Els missatges iniciats amb la partícula «request» denoten una petició d'un agent a un altre (en aquest cas petició de considerar una proposta de compra o una oferta de venda); aquells missatges iniciats amb «inform» comuniquen una informació; el fet de desistir o abandonar una negociació, que al sistema implementat en aquesta pràctica ja s'ha comentat que es fa saber de manera implícita (amb la no comunicació), sí que caldria comunicar-lo de forma explícita en una institució electrònica. També caldria comunicar el fet d'acceptar realitzar la transacció, que es representaria com una sentència declarativa, amb la partícula «declare», ja que canviaria la realitat induint a la immediata materialització de la transacció.

Llegenda:

- B: buyer sends message to seller
- S: seller sends message to buyer
- ': value might be different than previous time

Passos del protocol (s'inicia en 1 si el comprador comença la negociació; en 2 si comença el venedor):

1. B: request propose(enterprise-name quantity price)
2. if S wants to negotiate:
 - if S has stock:
 - if S has stock of enterprise-name:
 - if S accepts proposal:
 - S: declare make-transaction() [B pays S and S gives stock to B]
 - else:
 - S: request offer(enterprise-name quantity' price')
 - else if S wants to chose another enterprise (note: if S is an enterprise, it will never do it, only speculators might do it):
 - S: request offer(enterprise-name' quantity' price')
 - else:
 - S: inform abandon()
 - else:
 - S: inform abandon()
 - 3. if B accepts request:
 - B: declare make-transaction() [B pays S and S gives stock to B]
 - else if B decides to abandon negotiation:
 - B: inform abandon()
 - else (B wants to change quantity or price):
 - go to 1

Figura 4: pseudocodi del protocol de compravenda si es plantejés el sistema com a institució electrònica

L'altre protocol que parteix de les directrius del protocol genèric definit anteriorment és el protocol de formació de coalició. Quan un especulador determina que és convenient per als seus interessos la formació d'una coalició amb un altre especulador, envia a aquest una sol·licitud amb la seva informació d'interès per a la coalició, que no és altra cosa que el valor estimat de la suma de totes les seves accions i els seus diners. L'altre especulador, amb aquesta informació, en té suficient per a prendre una decisió sense necessitar de continuar negociant. Si li sembla oportú, l'especulador receptor demana al mercat la formació d'una coalició liderada per ell, i en què l'especulador emissor inicial esdevé el subordinat a efectes pràctics. El fet que

un dels especuladors lideri les comunicacions no vol dir que l'altre no tingui cap benefici, ans al contrari: quan es decideixi trencar la coalició, se sol·licitarà al mercat que resolgui la situació o balanç d'aquesta. El mercat entregarà llavors una quantitat d'accions i diners a cada un dels integrants de l'extinta coalició que serà proporcional al valor de les accions i als diners aportats per cadascun d'inici; és a dir, els guanys o les pèrdues d'estar en una coalició es reparteixen equitativament d'acord amb l'aportació inicial de cadascú. Per simplicitat no s'ha establert cap protocol per negociar el trencament d'una coalició, sinó que s'ha concedit al portaveu o mestre de la coalició (aquell que negocia amb altres agents en nom de la unió) la potestat de demanar de forma unilateral al mercat que trenqui la coalició i resolgui el seu balanç de forma immediata, fent asseblar al subordinat de la coalició el trencament d'aquesta.

Protocol de formació de coalició

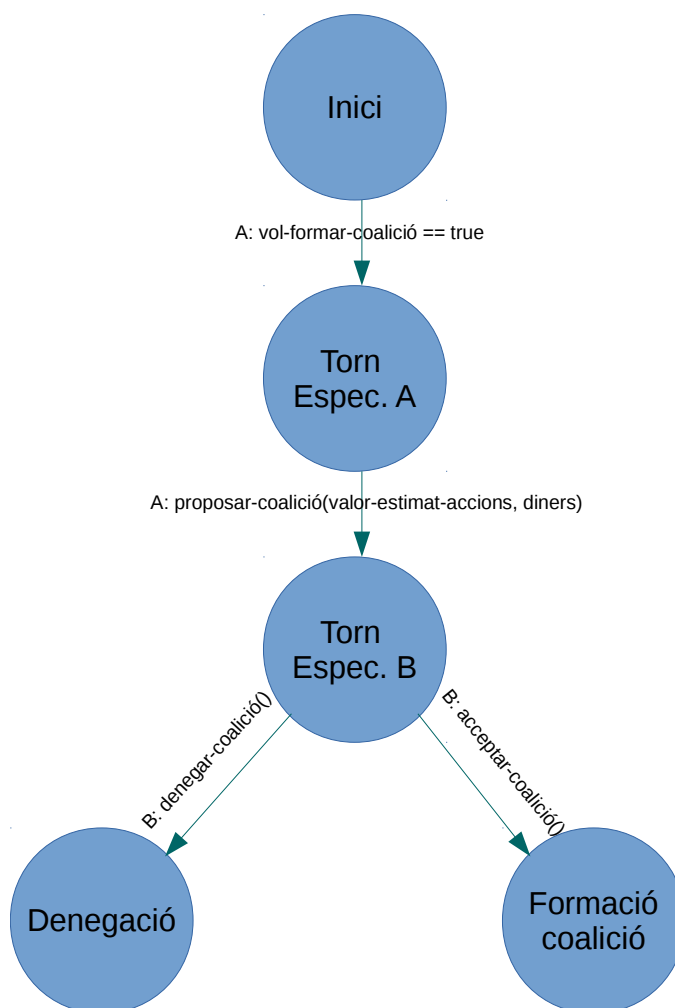


Figura 5: Protocol de formació d'una coalició entre especuladors

4. Descripció de la interfície dissenyada

La interfície del sistema desenvolupat consta de tres grans parts. Primerament, existeix un grup de widgets a la part inferior de la interfície amb què l'usuari

pot interactuar. Aquests widgets són els botons (de «Setup» per a configurar d'inici la simulació i «Run» per a executar-la) i diferents blocs de paràmetres (amb switches per a activar o desactivar certes funcionalitats i sliders per a configurar valors numèrics). A la part superior esquerra de la interfície es pot observar una pantalla de visualització de l'evolució de la simulació, que s'actualitza en temps real quan s'està executant la simulació. Finalment, a la dreta d'aquesta pantalla, es pot veure un conjunt de gràfiques que mostren dades rellevants sobre la simulació, que recullen aspectes d'interès sobre el seu progrés al llarg del temps, i que es poden analitzar per a extreure conclusions sobre el comportament dels agents i del mercat com a ens global del sistema. Addicionalment, es pot habilitar, abaix de tot, el «Command Center», que permet mostrar missatges relatius a l'execució i als agents.

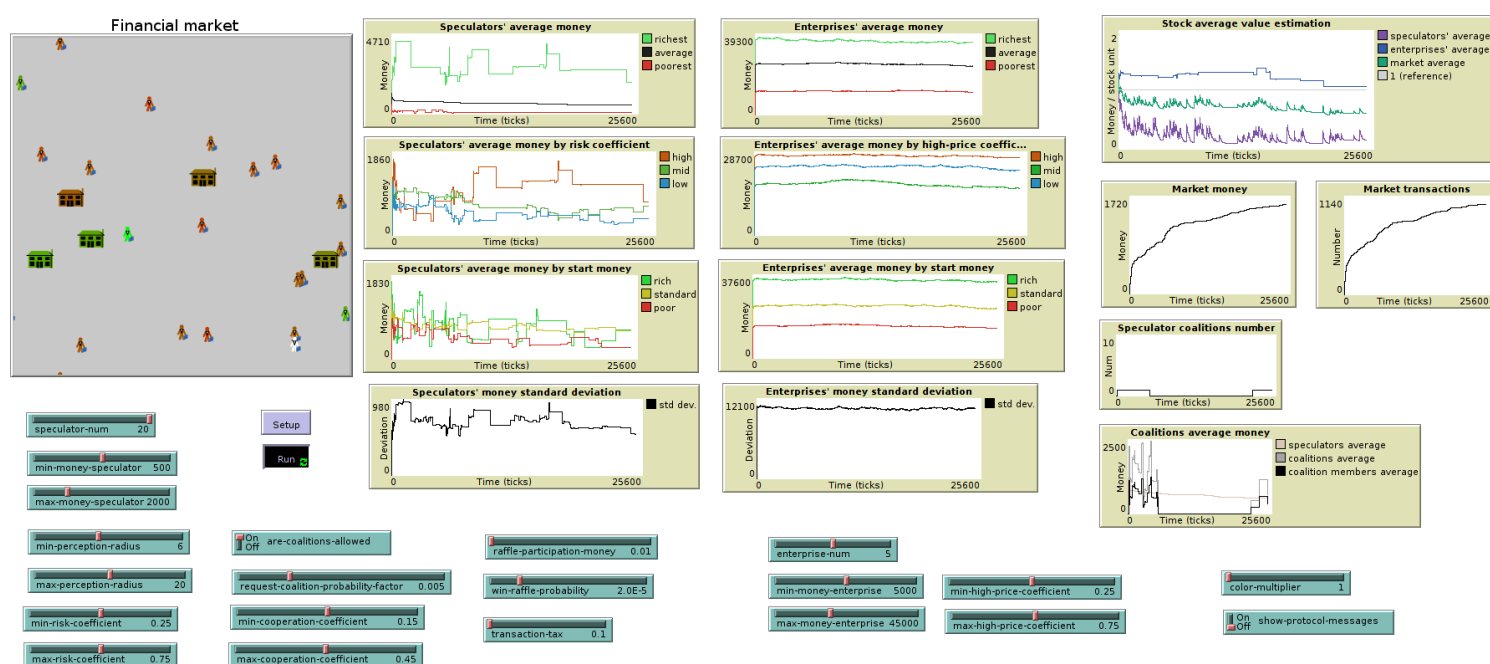


Figura 6: interfície del mercat financer

Els paràmetres del mercat financer es poden dividir en tres blocs: els relatius als especuladors, els relatius a les empreses i els de miscel·lània. Els paràmetres dels especuladors permeten controlar el nombre total d'especuladors de la simulació així com delimitar els rangs d'alguns dels seus valors característics, de manera que aquestes propietats prendran valors entre els valors mínims i màxims aquí definits. Entre aquests atributs distingim la quantitat de diners inicials que tindran, el seu radi de percepció o els coeficients de risc i de cooperació. També es pot indicar si es permet la formació de coalicions i afectar la probabilitat amb què es tendiran a formar (tot i que no és l'únic factor que ho determina). A més, es pot definir la quota de participació del sorteig del mercat per als especuladors, així com la probabilitat de guanyar tal sorteig. L'import fixe a pagar per transacció es defineix aquí també, tot i que afecta també a les empreses. Els paràmetres exclusius de les empreses trobem el seu nombre inicial, el rang de diners

inicials que poden tenir i el seu factor de preu elevat. Els paràmetres que no s'associen als grups d'agents són el factor multiplicatiu del color dels agents a la pantalla de visualització de la simulació i si es volen mostrar missatges de protocol a la consola.

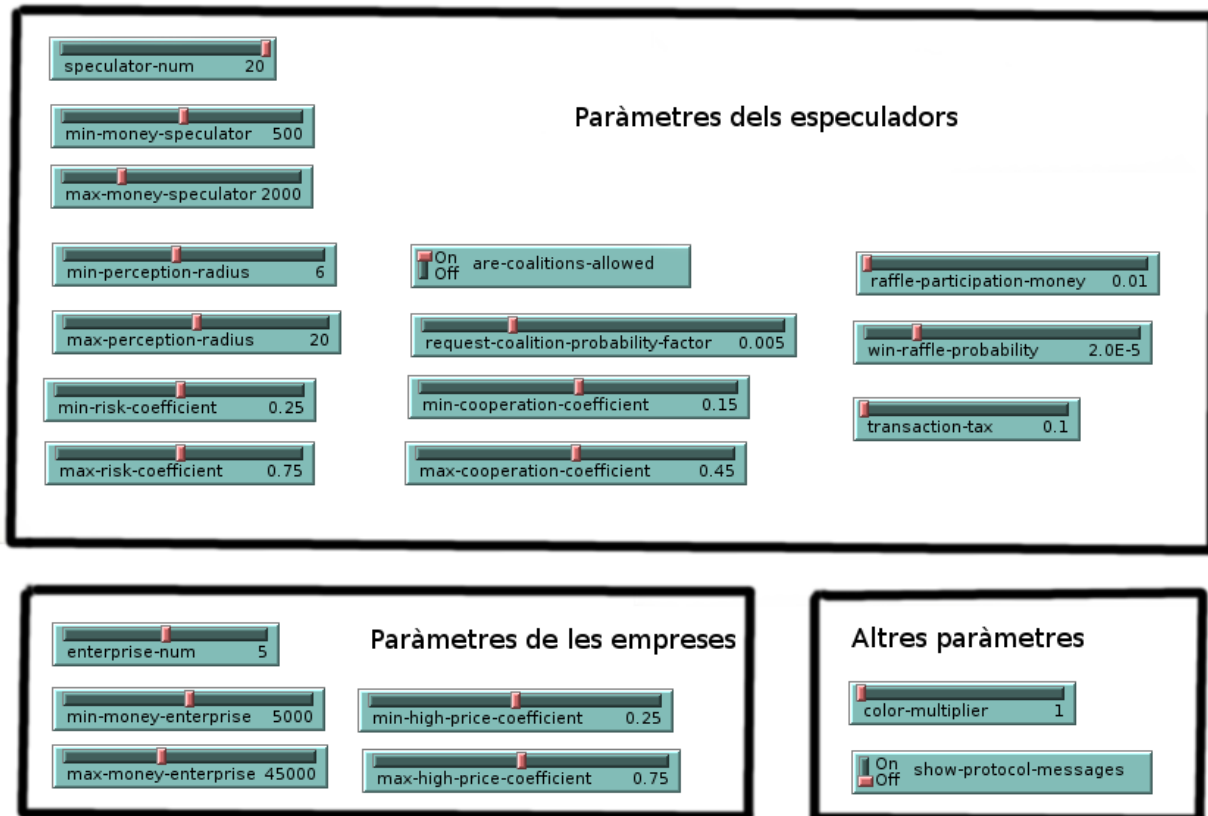


Figura 7: paràmetres de la simulació

La pantalla de visualització de la simulació mostra tots els agents, tant especuladors com empreses, situats a l'entorn del sistema multiagent del mercat. Els especuladors van movent-se cap on desitgin, mentre que les empreses romanen estàtiques. Com a indicador visual de la capacitat econòmica de cada agent, s'ha optat per modelar el seu color en funció dels diners que tenen: aquells agents amb molt pocs diners mostren colors vermellorsos, mentre que aquells més rics es poden distingir pels seus colors verdosos: com més intens és el verd, més diners tenen. Els colors intermitjos representen situacions intermitges en quant a patrimoni dels agents. Els especuladors de blanc són subordinats d'una coalició. El mercat financer és un tipus de sistema multiagent d'on es podrien mostrar molts tipus de dades estadístiques interessants, i així s'ha fet, però a les gràfiques, no a la pantalla de visualització. Això ha estat així perquè els tipus de dades d'interès, molt relacionades amb valors numèrics, s'aprecien millor en gràfiques que no pas sobre agents en moviment a la pantalla, i a més s'evita sobrecarregar l'execució (alentint de forma considerable el temps per tick) amb

renderitzacions que per molt que podrien ser atractives visualment no aportarien gaire a l'estudi de la simulació.

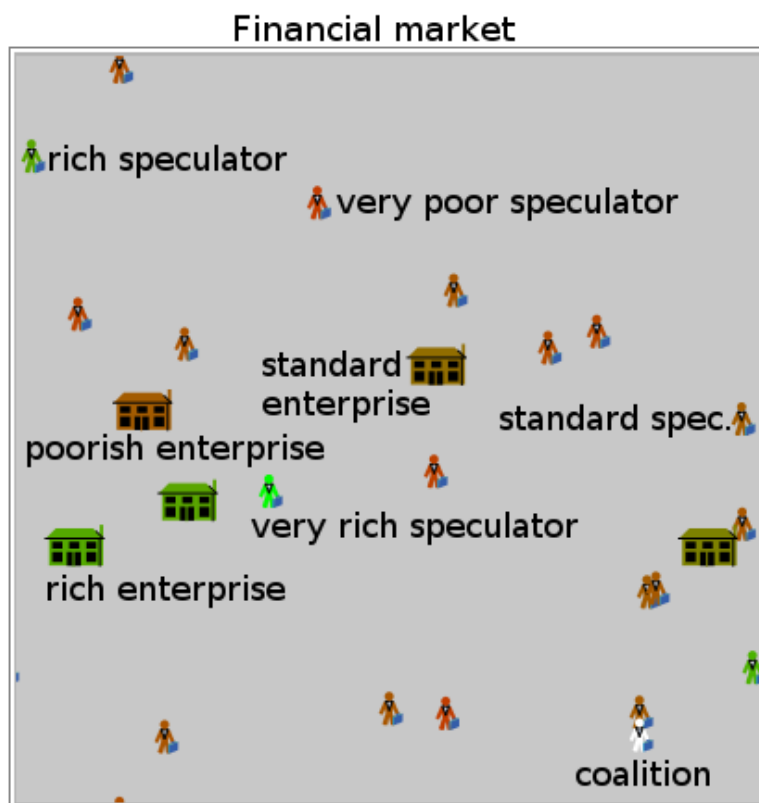


Figura 8: pantalla de visualització de la simulació

Pel que fa a les gràfiques, el seu principal objectiu es intentar conèixer l'estat global del mercat en tot moment, així com l'evolució dels diferents grups d'agents, categoritzats segons varis criteris; també es busca detectar si determinades parelles d'atributs numèrics estan correlacionats, per exemple per veure si són directa o inversament proporcionals. Les gràfiques s'organitzen a la interfície en quatre categories. Les de la primera columna (començant per l'esquerra) estan relacionades amb els especuladors. La primera gràfica (començant per dalt) mostra els diners que tenen de mitja els especuladors al llarg del temps, i es compara amb el capital del més pobre i del més ric de cada moment. La segona gràfica mostra els diners dels especuladors en funció del seu coeficient de risc: es divideix els especuladors en tres grups (coeficient baix, mitjà i alt), i es mostra la mitja de diners de cada grup. En tercer lloc es pot observar una gràfica que divideix els especuladors segons els seus diners inicials i mostra com evoluciona el seu capital al llarg del temps. Finalment, en darrer lloc d'aquesta columna es presenta la desviació típica dels diners dels especuladors al llarg del temps, valor que permet quantificar el grau de diferència o desigualtat entre els diners dels agents, i veure com fluctua al llarg del temps.

La segona columna correspon a les gràfiques de les empreses. Les quatre gràfiques són anàlogues a les de la columna dels especuladors tret de la segona, ja que en comptes de mostrar-se els diners en funció del coeficient de

risc aquí es mostren en funció del coeficient de preu alt, atribut de les empreses.

La tercera columna conté dos categories de gràfiques. Les tres gràfiques superiors corresponen al mercat. La primera gràfica és possiblement la més interessant de tota la simulació, ja que reflexa l'especulació sobre el valor de les accions de les empreses per part dels agents: es mostra la mitja del valor que estimen els especuladors que té una acció d'empresa de mitja, així com el valor anàleg per les empreses i la mitja de tots dos grups, que s'anomena la mitja del mercat. Es mostra també una línia constant corresponent al valor de 1 unitat de diners per acció, que és l'assumpció inicial de tots els agents, i que van modulant amb les prediccions i estimacions que raonen cada vegada que realitzen transaccions. A continuació trobem les gràfiques dels diners del mercat i del nombre de transaccions totals, que mostren l'activitat del mercat al llarg del temps.

El darrer bloc de gràfiques és referent a les coalicions d'especuladors. La primera mostra el nombre de coalicions en funció del temps; la segona, compara els diners que de mitja tenen les coalicions (i també cada membre que participa en elles) amb la mitja dels especuladors en general.

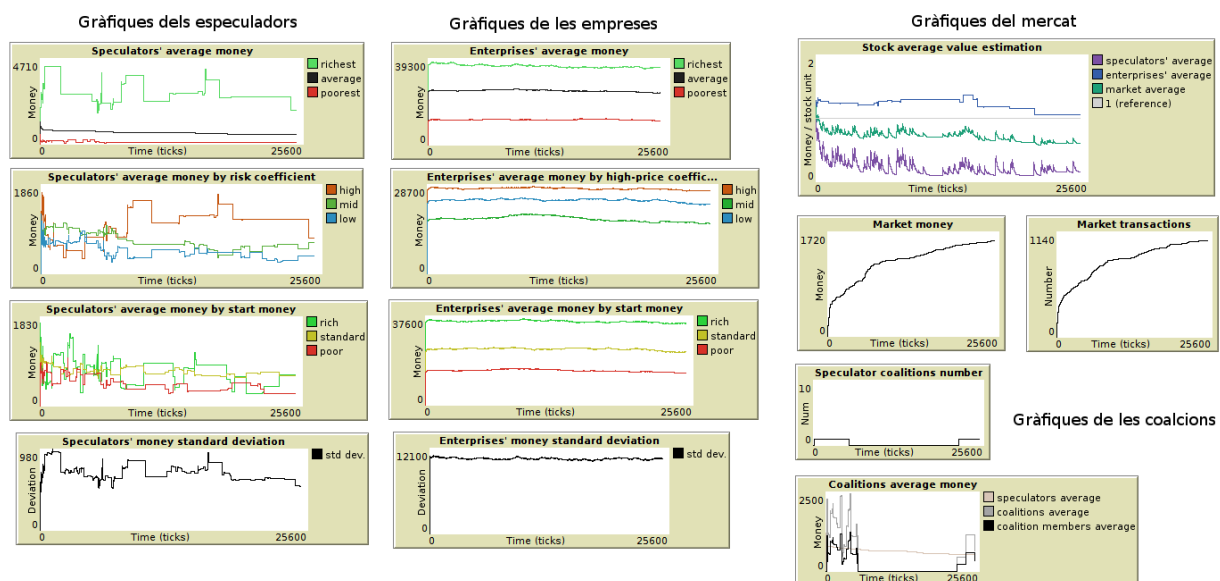


Figura 9: gràfiques de la simulació

Finalment, i de forma addicional, podem visualitzar si ho desitgem missatges a la consola de comanda. Periòdicament s'actualitza aquesta consola amb informació estadística, en particular, gran quantitat de dades sobre tots i cadascun dels agents que formen part del sistema, com els seus diners, els seus diners inicials, els diners del seu millor moment, els coeficients que determinen la seva naturalesa, les seves transaccions, les coalicions en què estan, etcètera. També es mostren els diners totals del mercat. La consola també mostra en temps real la formació i el trencament de coalicions, indicant els seus integrants.

Command Center

BATCH OF STATISTICS:

(speculator 2) has lived for 140027 ticks:
start money: 1392; current money: 138.95023012579912; best moment money: 2970.4403345441087
transaction num: 344 (purchases: 183; sales: 161)
risk coefficient: 0.28

(speculator 0) has lived for 140027 ticks:
start money: 1524; current money: 293.7437036086779; best moment money: 3297.541416474961
transaction num: 236 (purchases: 129; sales: 107)
risk coefficient: 0.55

(speculator 8) has lived for 140027 ticks:
start money: 1588; current money: 458.9680417107412; best moment money: 3658.580110469753
transaction num: 194 (purchases: 105; sales: 89)
risk coefficient: 0.63

(enterprise 21) has lived for 140027 ticks:
start money: 36382; current money: 33871.96221378537; best moment money: 39154.67342464527
transaction num: 34 (purchases: 0; sales: 34)
high price coefficient 0.61

(speculator 17) has lived for 140027 ticks:
start money: 1445; current money: 0.003952409415122347; best moment money: 2179.076266609285
transaction num: 35 (purchases: 17; sales: 18)
risk coefficient: 0.43

(speculator 5) has lived for 140027 ticks:
start money: 1516; current money: 75.86462908929815; best moment money: 2370.484788404864
transaction num: 143 (purchases: 81; sales: 62)
risk coefficient: 0.3

(enterprise 22) has lived for 140027 ticks:
start money: 11067; current money: 11761.09533930591; best moment money: 14210.512952414869
transaction num: 35 (purchases: 0; sales: 35)
high price coefficient 0.53

(speculator 10) has lived for 140027 ticks:
start money: 1512; current money: 265.2508546842784; best moment money: 3360.129580142827
transaction num: 237 (purchases: 134; sales: 103)
risk coefficient: 0.48

Command Center

(speculator 14) has lived for 140027 ticks:
start money: 1680; current money: 25.665719320686783; best moment money: 1680
transaction num: 44 (purchases: 16; sales: 28)
risk coefficient: 0.5900000000000001

(speculator 19) has lived for 140027 ticks:
start money: 1067; current money: 0.002617302313390333; best moment money: 1684.4885194079259
transaction num: 26 (purchases: 8; sales: 18)
risk coefficient: 0.29

(speculator 13) has lived for 140027 ticks:
start money: 1386; current money: 3.0127258665683656; best moment money: 4415.553964325209
transaction num: 99 (purchases: 50; sales: 49)
risk coefficient: 0.6

(speculator 1) has lived for 140027 ticks:
start money: 1634; current money: 394.4194457000575; best moment money: 2320.164464806794
transaction num: 37 (purchases: 18; sales: 19)
risk coefficient: 0.28

(speculator 16) has lived for 140027 ticks:
start money: 746; current money: 89.92813886920787; best moment money: 1658.8453117050863
transaction num: 13 (purchases: 6; sales: 7)
risk coefficient: 0.71

(speculator 7) has lived for 140027 ticks:
start money: 1688; current money: 53.837428814043044; best moment money: 2331.611895675254
transaction num: 51 (purchases: 24; sales: 27)
risk coefficient: 0.72

(enterprise 20) has lived for 140027 ticks:
start money: 9267; current money: 12349.81817962932; best moment money: 13815.861984051207
transaction num: 29 (purchases: 0; sales: 29)
high price coefficient 0.54

(enterprise 24) has lived for 140027 ticks:
start money: 10362; current money: 15242.947921037538; best moment money: 16255.445371050886
transaction num: 41 (purchases: 0; sales: 41)
high price coefficient 0.49

total market money: 1644.369130777612
(speculator 15) and (speculator 3) have formed a coalition.
(speculator 2) and (speculator 10) have formed a coalition.
(speculator 15) and (speculator 3) have broken their coalition.
(speculator 2) and (speculator 10) have broken their coalition.

Figura 10: dades estadístiques de la consola

Si s'activa l'opció de mostrar missatges del protocol (és un dels paràmetres disponibles), es poden veure en detall tots els missatges que els agents es comuniquen entre si.

```
Command Center
(enterprise 20) -> (speculator 0): OFFER [20 2958 2377.021011691253]
(speculator 14) -> (speculator 11): OFFER [23 429 4180]
(enterprise 22) -> (speculator 1): OFFER [22 236 134.45309983921635]
(speculator 3) -> (enterprise 22): PROPOSE [22 95 40.85]
(speculator 17) -> (enterprise 22): PROPOSE [22 101 62.62]
(speculator 16) -> (speculator 6): REQUEST-COALITION [83.8297284338445 207.83872875661808]
(speculator 19) -> (speculator 15): PROPOSE [24 102 4.998]
(speculator 0) -> (enterprise 20): PROPOSE [20 2958 1318.2120561963643]
(speculator 18) -> (speculator 1): OFFER [24 444 1480]
(speculator 7) -> (enterprise 24): PROPOSE [24 357 22.134]
(speculator 10) -> (enterprise 23): PROPOSE [23 105 5.04]
(enterprise 24) -> (speculator 7): OFFER [24 412 236.9926442506596]
(speculator 1) -> (enterprise 22): PROPOSE [22 449 21.552000000000003]
(speculator 6) -> (speculator 16): PROPOSE [20 128 5.5040000000000004]
(enterprise 20) -> (speculator 0): OFFER [20 3609 3597.316070633938]
(enterprise 23) -> (speculator 10): OFFER [23 116 84.79960617752462]
(enterprise 22) -> (speculator 1): OFFER [22 417 204.00101302486016]
(speculator 18) -> (speculator 1): OFFER [22 416 1620]
(speculator 10) -> (enterprise 23): PROPOSE [23 133 6.517]
(speculator 14) -> (speculator 11): OFFER [23 429 3360]
(speculator 4) -> (enterprise 24): PROPOSE [24 626 30.048]
(speculator 7) -> (enterprise 24): PROPOSE [24 724 31.856]
(speculator 16) -> (speculator 6): OFFER [21 113 6.294162225264628]
(speculator 0) -> (enterprise 20): PROPOSE [20 3550 1944.2497967296479]
(enterprise 23) -> (speculator 10): OFFER [23 125 80.4593229007844]
(speculator 19) -> (speculator 4): OFFER [20 334 3640]
(speculator 9) -> (enterprise 22): PROPOSE [22 278 16.958]
(speculator 1) -> (enterprise 22): PROPOSE [22 638 31.900000000000002]
(enterprise 24) -> (speculator 7): OFFER [24 813 632.2281914026496]
(speculator 5) -> (speculator 8): OFFER [24 538 4840]
(enterprise 20) -> (speculator 0): OFFER [20 3914 3265.809112594781]
(speculator 7) -> (enterprise 23): PROPOSE [23 635 29.21]
(speculator 10) -> (enterprise 23): PROPOSE [23 137 6.439]
(speculator 0) -> (enterprise 20): PROPOSE [20 3914 966.1627781486952]
(speculator 8) -> (speculator 5): PROPOSE [20 62 31.62]
(speculator 8) -> (speculator 5): MAKE-TRANSACTION [20 62 31.62]
```

Figura 11: missatges de protocols de comunicació entre agents a la consola

5. Explicació de la implementació del programa

Tot seguit es mostra el codi de la implementació, però es restringeix a les funcions més importants (s'han deixat fora d'aquest document algunes de les funcions que calculen els outputs de les gràfiques per exemple). S'esmenta l'objectiu bàsic que compleix cada funció, i es pot consultar en detall a les imatges que s'adjunten, que mostren un codi detalladament comentat.

El programa compta amb una part de capçalera on es declaren les variables globals i els dos tipus d'agents, especuladors i empreses, així com els atributs de cadascun.

```

extensions [table]

breed [speculators speculator]
breed [enterprises enterprise]

globals [

  market-money ; fons de diners del mercat

  ticks-since-statistics ; ticks des que es van mostrar dades estadístiques per darrer cop
  ticks-to-show-statistics ; temps mesurat en ticks que es triga en tornar a mostrar dades estadístiques

  ; tipus de missatges comunicatius explícits en una negociació de compravenda d'accions
  ; (també hi ha dos d'implícits, abandonar la negociació i completar la transacció, que els
  ; agents poden deduir dels fets, no cal comunicar-los explícitament)
  propose ; proposar unes característiques d'accions per part del comprador
  offer ; realitzar una oferta amb unes característiques d'accions per part del venedor
  request-for-coalition ; realitzar una petició d'unir-se a un altre agent en una coalició liderada per ell

  coalition-subordination-color ; color pels agents subordinats a una coalició
]

; atributs comuns a especuladors i empreses
turtles-own [

  current-messages ; missatges que l'agent processa a la iteració considerada actual a cada moment
  next-messages ; missatges que l'agent llegirà a la següent iteració, on els altres agents poden escriure

  money ; diners de l'agent
  start-money ; diners amb què l'agent va entrar al mercat
  best-moment-money ; màxima quantitat de diners que l'agent ha posseït en algun moment de la seva vida

  transaction-num ; nombre de transaccions totals que ha fet l'agent
  sales-num ; nombre de ventes totals que ha fet l'agent

  is-negotiating ; indica si l'agent té una negociació en marxa (a través d'una comunicació de missatges)
  has-negotiation-progressed ; indica si durant el tick actual la negociació que hi havia en marxa ha avançat
  is-waiting-for-response ; indica si l'agent està esperant una resposta en la negociació actual
  has-buyer-role ; indica si en la negociació actual l'agent té rol de comprador (o venedor en cas contrari)
  current-negotiator ; altre agent amb qui l'agent està negociant actualment

  start-tick ; tick en què l'agent ha estat creat
]

; atributs exclusius dels especuladors
speculators-own [

  risk-coefficient ; valor que mesura la tendència de l'agent a assumir riscos

  stock-quantity-per-enterprise ; taula que associa noms d'empreses amb el nombre d'accions que l'especulador té d'aquesta
  stock-value-estimation-per-enterprise ; taula que associa noms d'empreses amb una estimació de valor d'acció que l'agent fa sobre ella

  is-in-coalition ; indica si l'especulador està participant en una coalició actualment
  is-coalition-master ; indica si l'especulador és el mestre d'una coalició (qui la dirigeix)
  coalition-subordinate ; subordinate de la coalició actual de l'especulador, si ell n'és el mestre
  coalition-money-factor ; factor (entre 0 i 1) que representa el percentatge de diners de la coalició actual de l'especulador que li pertanyen
  coalition-stock-factor ; factor (entre 0 i 1) que representa el percentatge de valor en accions de la coalició actual de l'especulador que li pertanyen
  cooperation-coefficient ; factor de cooperació (entre 0 i 1), es té en compte a l'hora d'acceptar o no cooperar amb un especulador en coalició
]

; atributs exclusius de les empreses
enterprises-own [
  high-price-coefficient ; valor que mesura la tendència de l'empresa a vendre accions a preu elevat
  stock-value-estimation ; estimació de valor sobre les seves accions que l'empresa fa, a partir de les operacions passades
]

```

Figura 12: capçalera del programa

El programa que fa possible les simulacions consta de dos funcions bàsiques: «setup» i «go». La funció «setup» s'encarrega de configurar les condicions inicials de la simulació, generant el conjunt dels agents i iniciant-los.

```

to setup
  clear-all
  reset-ticks

  ask patches [
    set pcolor (list 200 200 200)
  ]

  set market-money 0

  set ticks-since-statistics 0
  set ticks-to-show-statistics 10000

  set propose "PROPOSE"
  set offer "OFFER"
  set request-for-coalition "REQUEST-COALITION"

  set coalition-subordination-color white

  create-speculators speculator-num [
    set next-messages []
    set is-negotiating false
    set has-negotiation-progressed false
    set is-waiting-for-response false
    set has-buyer-role false
    set current-negotiator nobody
    set money min-money-speculator + (random (max-money-speculator - min-money-speculator)) ; s'inicialitzen els diners en un rang
    set start-money money
    set best-moment-money money
    set risk-coefficient min-risk-coefficient + (random (100 * (max-risk-coefficient - min-risk-coefficient))) / 100 ; inicialitza el coeficient de risc en un rang
    set stock-quantity-per-enterprise table:make ; els especuladors comencen sense accions
    set stock-value-estimation-per-enterprise table:make ; els especuladors no poden estimar valors d'accions d'entrada
    set is-in-coalition false
    set is-coalition-master false
    set coalition-subordinate nobody
    set coalition-money-factor 0
    set coalition-stock-factor 0
    set cooperation-coefficient min-cooperation-coefficient + (random (100 * (max-cooperation-coefficient - min-cooperation-coefficient))) / 100 ; inicialitza el coeficient de cooperació en un rang
    set start-tick ticks
    setxy random-xcor random-ycor
    set shape "person business"
    set size 1.5
    set color blue ; color inicial de l'especulador
  ]

  create-enterprises enterprise-num [
    set next-messages []
    set is-negotiating false
    set has-negotiation-progressed false
    set is-waiting-for-response false
    set has-buyer-role false
    set current-negotiator nobody
    set stock-value-estimation 1
    set money min-money-enterprise + (random (max-money-enterprise - min-money-enterprise)) ; s'inicialitzen els diners en un rang
    set start-money money
    set best-moment-money money
    set high-price-coefficient min-high-price-coefficient + (random (100 * (max-high-price-coefficient - min-high-price-coefficient))) / 100 ; inicialitza el coeficient de preu alt en un rang
    set start-tick ticks
    setxy (-15 + (random 30)) (-15 + (random 30))
    set shape "house colonial"
    set size 3
    set color gray
  ]
end

```

Figura 13: funció setup

La funció «go», per la seva banda, conté el codi que s'executa a cada tick o iteració del codi (s'executa en bucle infinit). Actualitza els missatges que els agents van rebre a la iteració anterior perquè els processin (funcions «swap-messages» i «process-messages»), condueix els agents a actuar («act») i gestiona les estadístiques («manage-statistics»).

```

to go
  swap-messages
  process-messages
  act
  manage-statistics
  tick
end

```

Figura 14: funció go

La funció «swap-messages» fa que els nous missatges a processar siguin els rebuts a l'anterior iteració, i buida els antics.

```

to swap-messages
  ask turtles [
    set current-messages next-messages
    set next-messages []
  ]
end

```

Figura 15: funció swap-messages

La funció «process-messages» processa els missatges dels agents («process-message» per a cada missatge acceptat per processar), conduint-los a prendre noves decisions i a poder respondre els missatges si ho consideren oportú; si estaven negociant només atenen el seu negociador.

```
; Fa que els agents processin els missatges que han rebut durant el darrer tick
to process-messages

ask turtles [

; només les empreses i els especuladors no subordinats a coalicions (els mestres sí) poden processar missatges
if breed != speculators or not is-in-coalition or is-coalition-master [

; si l'agent està esperant un missatge cal preveure que trigarà un torn en arribar,
; ja que l'altre agent necessita un tick per processar-lo i generar la resposta, de
; manera que s'ignoren els missatges actuals
ifelse is-waiting-for-response [

; el següent tick ja sí que es voldrà veure si ha arribat la resposta que s'estava esperant
set is-waiting-for-response false
]

; si no cal esperar, s'atenen els missatges actuals
[

set has-negotiation-progressed false

let index 0

; s'examinen els missatges fins que un suposi un progrés en una negociació, o fins que s'acabin tots
while [not has-negotiation-progressed and index < length current-messages] [

let message item index current-messages

process-message (item 0 message) (item 1 message) (item 2 message)

set index (index + 1)
]

; si en cap dels missatges processats s'ha donat peu a poder progressar amb la negociació actual,
; aquesta es considera acabada (també, de tant en tant, es talla arbitràriament una negociació)
if not has-negotiation-progressed or 3 > random 200 [

stop-current-negotiation
]
]
]
end
```

Figura 16: funció process-messages

```

; Processa un missatge concret que ha rebut un agent
to process-message [sender kind message]

; no es processen missatges d'agents inexistents
if sender != nobody [

; es mostra el missatge rebut
if show-protocol-messages [

print (word sender " -> " self " " kind " " message)
]

let can-process-message true

; si es té una negociació en marxa només s'atendran missatges de l'agent amb qui s'està negociant
if is-negotiating [

set can-process-message (sender = current-negotiator)
]

; si es pot atendre el missatge
if can-process-message [

; si ja s'estava negociant
ifelse is-negotiating [

; si a la negociació s'actua com a comprador
ifelse has-buyer-role [

; si s'ha rebut una oferta de venda
if kind = offer [

; es processa l'oferta
process-sell-offer sender message
]

]

; si a la negociació s'actua com a venedor
[

; si s'ha rebut una proposta de compra
if kind = propose [

; es processa la proposta
process-buy-proposal sender message
]

]

]

; si l'agent no estava negociant
[

; si s'ha rebut una proposta de compra
ifelse kind = propose [

; es processa la proposta
process-buy-proposal sender message
]

[

; si s'ha rebut una oferta de venda
ifelse kind = offer [

; es processa l'oferta
process-sell-offer sender message
]

[

; si s'ha rebut una sol·licitud d'unió en coalició
if kind = request-for-coalition [

; es processa la petició
process-coalition-request sender message
]

]

]

]

]

]

end

```

Figura 17: funció process-message

Cada tipus de missatge rebut es processa de forma diferent: propostes de compra amb «process-buy-proposal», ofertes de venda amb «process-sell-offer» i sol·licituds de formar coalició amb «process-coalition-request». Cadascuna d'aquestes funcions avalua si respon o no els missatges rebuts, o si pren alguna decisió sobre el seu futur.

```
; Processa una proposta de compra d'accions que fa un altre agent perquè se li venguin
to process-buy-proposal [potential-buyer proposal]

; per acceptar negociar una venda, cal que l'agent sigui un especulador o bé una empresa negociant sobre les seves accions
if breed = speculators or (item 0 proposal) = who [
    negotiate-to-sell potential-buyer proposal
]

end
```

Figura 18: funció process-buy-proposal

```
; Processa una oferta de venda d'accions que fa un altre agent perquè se li comprin
to process-sell-offer [potential-seller sell-offer]

; només els especuladors compren accions, no les empreses
if breed = speculators [

    let has-enough-money false

    ifelse breed = speculators [
        set has-enough-money (money >= min-money-speculator)
    ]

    [
        set has-enough-money (money >= min-money-enterprise)
    ]

; si es té un mínim de diners, es negocia una compra
if has-enough-money [
    negotiate-to-buy potential-seller sell-offer
]

end
```

Figura 19: funció process-sell-offer

```
; Processa una proposta d'un altre agent de subordinar-se a l'especulador en una coalició
to process-coalition-request [applicant request-terms]

; si l'agent és un especulador que no forma part d'una coalició ja existent
if breed = speculators and not is-in-coalition [

    let is-applicant-speculator false

    ask applicant [
        set is-applicant-speculator breed = speculators
    ]

; l'altre agent ha de ser també especulador
if is-applicant-speculator [

    ; es basa la probabilitat d'acceptar en el coeficient de cooperació de l'agent
    let accept-coalition-probability cooperation-coefficient

; la probabilitat augmenta en situacions d'un cert bloqueig per l'agent (com tenir un valor estimat en accions molt gran però pocs diners)
set accept-coalition-probability 0.1 * (accept-coalition-probability * min (list 0.5 (max (list 3 (get-stock-estimated-value / ( money + 0.01))))))

; s'accepta o no en base a probabilitats
if accept-coalition-probability * 100 >= random 100 [

    ; es forma la coalició
    make-coalition applicant request-terms
]

end
```

Figura 20: funció process-coalition-request

La funció «act» fa actuar els agents: els especuladors, si no estan negociant encara, participen en el sorteig del mercat («participate-in-raffle»), deprecien les accions encara no venudes («depreciate-unsold-stock»), gestionen les

seves coalicions («manage-coalition», on decideixen si trencar-la amb «break-coalition») i intenten iniciar una negociació («try-to-start-negotiation»), a més d'actualitzar el seu color segons els seus diners («update-color»). Si per contra ja estaven negociant no fan res d'això (tret l'actualització del color), ja que estan negociant quan processen i generen missatges («process-messages»). Les empreses experimenten canvis al seu patrimoni en modelar-se la seva activitat econòmica als seus mercats exteriors, i actualitzen també el seu color.

```
; Actuar
to act

; els especuladors actuen
ask speculators [

; si l'agent no té una negociació en marxa, intenta trobar algú amb qui iniciar una negociació
if not is-negotiating [

; l'agent participa en el sorteig del mercat (li poden tocar diners)
participate-in-raffle

; l'especulador deprecia (molt lleugerament) el valor estimat pel preu de les accions que encara no ha venut
depreciate-unsold-stock

; l'especulador es mou
move

; l'especulador gestiona la participació a la seva coalició que dirigeix, si en té (la pot trencar)
manage-coalition

; intenta iniciar una negociació
try-to-start-negotiation
]

; s'actualitza el color en funció dels diners
update-color
]

; les empreses actuen
ask enterprises [

; les empreses pateixen una variació al seu patrimoni per les activitats dutes a terme al mercat
; extern de la seva indústria (inversions, guanys, pèrdues, amortitzacions...)
set money max(list min-money-enterprise (money + money * ((random 10) / 10000) - money * ((random 10) / 10000)))

; s'actualitza el registre de millors diners si escau
if money > best-moment-money [
  set best-moment-money money
]

; s'actualitza el color en funció dels diners
update-color
]

end
```

Figura 21: funció act

```

; Fa participar l'agent en un sorteig del mercat, on a canvi d'un petit preu de participació pot guanyar molts diners
to participate-in-raffle

; no sempre s'acaba participant, i cal poder pagar la participació al sorteig
if (random 100) > 95 and money > raffle-participation-money [

    set money (money - raffle-participation-money)
    pay-market raffle-participation-money

; la probabilitat de victòria es baixa, però si es guanya l'agent obté part dels diners del mercat
if 1 > random (1 / win-raffle-probability) [

    let prize market-money * 0.25 + market-money * (random 50) / 100
    set market-money (market-money - prize)
    set money (money + prize)

; s'anota si es tenen més diners que mai
if money > best-moment-money [

    set best-moment-money money
]

    print (word self "has won a prize of " prize " money units in the market's raffle!")
]
end

```

Figura 22: funció participate-in-raffle

```

; L'especulador deprecia (molt lleugerament) el valor estimat pel preu de les accions que encara no ha venut,
; sota el raonament que si no ha pogut vendre fins ara les seves accions deu ser perquè valen menys del que ell
; creu i per tant demana per elles
to depreciate-unsold-stock

let stock-num 0
let index 0

let enterprise-ids (table:keys stock-value-estimation-per-enterprise)

loop [

; s'atura quan ha recorregut tota la taula
if index >= table:length stock-value-estimation-per-enterprise [
    stop
]

; empresa de la iteració actual
let enterprise-id (item index enterprise-ids)

; deprecia molt lleugerament l'estimació de valor de l'acció
table:put stock-value-estimation-per-enterprise enterprise-id (max (list 0.1 (0.99 * (table:get stock-value-estimation-per-enterprise enterprise-id))))

; incrementa l'índex
set index (index + 1)
]
end

```

Figura 23: funció depreciate-unsold-stock

```

; Fa que un especulador gestioni la coalició que dirigeix, si en té una
to manage-coalition

if is-coalition-master [

; quan es tenen molts diners i poques accions, la situació és força còmode com per poder trencar la coalició
; (la probabilitat de trencar-la també augmenta amb un coeficient de cooperació baix)
let break-coalition-probability (1 - cooperation-coefficient) * (min (list 0.5 (max (list 3 (money / (get-stock-estimated-value + 1))))))

; si es donen les circumstàncies, es trenca la coalició
if break-coalition-probability > random 1000 [

    break-coalition
]
]
end

```

Figura 24: funció manage-coalition

```

; Fa que un especulador trenqui la seva coalició
to break-coalition

; només els mestres poden trencar les coalicions
if is-coalition-master [

  let subordinate-money money * (1 - coalition-money-factor)
  let subordinate-stock-factor 1 - coalition-stock-factor

  ask coalition-subordinate [

    ; es dona al subordinat la part de diners que li pertocquen en base a la seva aportació inicial a la coalició
    set money subordinate-money

    let index 0

    let enterprise-ids table:keys stock-quantity-per-enterprise

    ; el subordinat es queda amb la part d'accions que li pertocquen
    while [index < table:length stock-quantity-per-enterprise] [

      let enterprise-id (item index enterprise-ids)

      table:put stock-quantity-per-enterprise enterprise-id round ((table:get stock-quantity-per-enterprise enterprise-id) * subordinate-stock-factor)

      set index (index + 1)
    ]

    ; el mestre es queda amb la part de diners que li pertoca
    set money money * coalition-money-factor

    let index 0

    let enterprise-ids table:keys stock-quantity-per-enterprise

    ; el mestre es queda amb la part d'accions que li pertocquen
    while [index < table:length stock-quantity-per-enterprise] [

      let enterprise-id (item index enterprise-ids)

      table:put stock-quantity-per-enterprise enterprise-id round ((table:get stock-quantity-per-enterprise enterprise-id) * coalition-stock-factor)

      set index (index + 1)
    ]

    ; es fa públic el trencament de la coalició
    print (word self " and " coalition-subordinate " have broken their coalition.")

    ask coalition-subordinate [

      set is-in-coalition false
    ]

    set is-in-coalition false

    set is-coalition-master false

    set coalition-subordinate nobody
  ]
]

```

Figura 25: funció break-coalition

```

to update-color

; el color no s'actualitza per a subordinats de coalicions
if breed = speculators and is-in-coalition and not is-coalition-master [

  stop
]

let reference-money max-money-speculator

if breed = enterprises [

  set reference-money max-money-enterprise * 1.05
]

let color-intensity 55 + ((money / (1.3 * reference-money)) * 200 * color-multiplier)

; límit en el valor de color
if color-intensity > 255 [
  set color-intensity 255
]
if color-intensity < 0 [
  set color-intensity 0
]

; el color passa de vermell a verd en funció dels diners
set color (list (255 - color-intensity) color-intensity 0)

end

```

Figura 26: funció update-color

La funció «try-to-start-negotiation» porta els especuladors a seleccionar altres agents propers (dins del seu radi d'interacció, calculat amb «get-perception-radius», que té en compte el nombre d'accions totals de l'especulador, amb «get-stock-num») amb què interactuar: amb «should-request-coalition» es determina si convé sol·licitar una coalició («request-coalition»), que si l'altre agent accepta comportarà a la creació de la mateixa («make-coalition»); amb «should-negotiate-with-speculator-or-enterprise» es determina si convé negociar amb un especulador o una empresa. La funció «should-buy-or-sell» permet l'agent determinar si prefereix actuar de comprador o venedor, la qual cosa pot portar a «negotiate-to-buy» o «negotiate-to-sell», respectivament.

```

; L'agent interactua amb el seu entorn, enviant missatges a agents propers si ho estima oportú,
; amb l'objectiu d'iniciar una negociació
to try-to-start-negotiation

; calcula el radi de percepció de l'agent, que determinarà la seva zona de possible interacció
let radius get-perception-radius

;print radius

; interacció per especuladors
if breed = speculators [

; es localitzen els agents propers, amb què l'especulador pot interactuar
let close-agents (other turtles with [ distance myself <= radius ])

; si hi ha algun agent a prop, s'intenta interactuar amb ell
if count close-agents > 0 [

let close-agent nobody

; determina si és preferible negociar amb un especulador o una empresa
let seeks-speculator should-negotiate-with-speculator-or-enterprise

ifelse seeks-speculator [

set close-agent one-of close-agents with [breed = speculators]
]
[
set close-agent one-of close-agents with [breed = enterprises]
]

if close-agent != nobody [

; si l'altre agent és un especulador
ifelse seeks-speculator [

; si es determina convenient, es procedeix a sol·licitar a l'agent unir-se a ell en coalició
ifelse should-request-coalition [

request-coalition close-agent (list get-stock-estimated-value money)
]
[
; es determina si és més convenient per l'agent intentar comprar o vendre accions ara mateix
let should-ask-to-buy should-buy-or-sell

; si comprar sembla més oportú, s'inicia una negociació de compra
ifelse should-ask-to-buy [

negotiate-to-buy close-agent (list)
]

; altrament, s'inicia una negociació de venda
[

negotiate-to-sell close-agent (list)
]
]
]

; si l'altre agent és una empresa
[

; es determina si és convenient per l'agent intentar comprar accions ara mateix
let should-ask-to-buy should-buy-or-sell

; si comprar sembla oportú, s'inicia una negociació de compra
if should-ask-to-buy [

negotiate-to-buy close-agent (list)
]
]
]
]
]

end

```

Figura 27: funció try-to-start-negotiation

```

; Calcula i retorna el radi de percepció d'un agent
to-report get-perception-radius

  let perception-radius 0

  ; pels especuladors, el radi de percepció es calcula a partir del nombre total d'accions (major com més accions tingui l'agent)
  if breed = speculators [
    set perception-radius (log (get-stock-num + 1) 10)
  ]

  ; per les empreses, el radi de percepció es calcula a partir dels seus diners (major com més diners tingui l'agent)
  if breed = enterprises [
    set perception-radius (log (get-stock-num + 1) 100)
  ]

  ; limitació del radi per no ser menor que el valor mínim acceptable
  ifelse perception-radius < min-perception-radius [
    set perception-radius min-perception-radius
  ]

  [
    ; limitació del radi per no ser major que el valor màxim acceptable
    if perception-radius > max-perception-radius [
      set perception-radius max-perception-radius
    ]
  ]

  report perception-radius
end

```

Figura 28: funció get-perception-radius

```

; Obté i retorna el nombre d'accions totals d'un especulador
to-report get-stock-num

  let stock-num 0
  let index 0

  let enterprise-ids (table:keys stock-quantity-per-enterprise)

  loop [
    ; retorna el nombre d'accions totals quan ha recorregut tota la taula
    if index ≥ table:length stock-quantity-per-enterprise [
      report stock-num
    ]

    ; empresa de la iteració actual
    let enterprise-id (item index enterprise-ids)

    ; incrementa el nombre d'accions amb les de l'empresa de la iteració actual
    set stock-num (stock-num + table:get stock-quantity-per-enterprise enterprise-id)

    ; incrementa l'índex
    set index (index + 1)
  ]

end

```

Figura 29: funció get-stock-num

```

; Determina si és oportú per a un especulador unir-se a un altre especulador en coalició
to-report should-request-coalition

; cal que les coalicions estiguin permeses
if are-coalitions-allowed [

; no pot formar part de dues coalicions alhora
if not is-in-coalition [

; es té en compte un factor global de probabilitat de voler formar coalició
let coalition-probability request-coalition-probability-factor / 10000

; la probabilitat augmenta en situacions d'un cert bloqueig per l'agent (com tenir un valor estimat en accions molt gran però
; pocs diners)
set coalition-probability (coalition-probability * min (list 0.5 (max (list 3 (get-stock-estimated-value / (money + 0.01))))))

report (100 * coalition-probability) > random 100
]
]

report false
end

```

Figura 30: funció should-request-coalition

```

; Fa que un especulador demani a un altre unir-se a una coalició
to request-coalition [other-speculator request-terms]

; envia el missatge
send-message other-speculator request-for-coalition request-terms

; es marca la negociació com a iniciada (per si encara no ho estava)
set is-negotiating true

; es marca que la negociació acaba de progressar
set has-negotiation-progressed true

; es marca que s'espera resposta (s'esperarà un torn)
set is-waiting-for-response true

; l'agent amb qui es vol negociar és aquell a qui es vol formar coalició
set current-negotiator other-speculator

end

```

Figura 31: funció request-coalition

```

; Fa que un especulador formi una coalició, a la qual dirigirà un subordinat
to make-coalition [subordinate terms]

; s'inicia el període de coalició
set is-in-coalition true

; l'agent és el mestre de la coalició
set is-coalition-master true

; l'altre agent actuarà com a subordinat
set coalition-subordinate subordinate

let subordinate-stock-quantities table:make

let subordinate-money 0

ask subordinate [

    set is-in-coalition true

    set color coalition-subordination-color

    set subordinate-stock-quantities stock-quantity-per-enterprise

    set subordinate-money money

]

; factor entre 0 i 1 que representa quin percentatge de diners aportats a la coalició correspon al mestre
; (la resta al subordinat); la proporció es recuperarà amb els diners finals quan s'acabi la coalició
set coalition-money-factor money / (money + (item 1 terms) + 0.1)

; factor entre 0 i 1 que representa quin percentatge d'accions (valor estimat) aportats a la coalició correspon al mestre
; (la resta al subordinat); la proporció es recuperarà amb les accions finals quan s'acabi la coalició
set coalition-stock-factor 0.5

if get-stock-estimated-value != 0 and (item 0 terms) != 0 [
    set coalition-stock-factor get-stock-estimated-value / (get-stock-estimated-value + (item 0 terms) + 0.1)
]

let index 0

let enterprise-ids table:keys subordinate-stock-quantities

; el subordinat dona tots els diners al mestre
set money subordinate-money

; el subordinat abona les seves accions al mestre
while [index < table:length subordinate-stock-quantities] [
    let enterprise-id (item index enterprise-ids)

    table:put stock-quantity-per-enterprise enterprise-id ((table:get-or-default stock-quantity-per-enterprise enterprise-id 0) + (table:get subordinate-stock-quantities enterprise-id))

    set index (index + 1)
]

; el subordinat ho ha donat tot (recuperarà una part proporcional a la seva aportació quan s'acabi la coalició)
ask subordinate [

    table:clear stock-quantity-per-enterprise

    table:clear stock-value-estimation-per-enterprise

    set money 0

    ; la negociació actual ha conclòs
    stop-current-negotiation
]

; la negociació actual ha conclòs
stop-current-negotiation

; es fa públic el fet de formar la coalició
print (word self " and " coalition-subordinate " have formed a coalition.")

end

```

Figura 32: funció make-coalition

```

; Determina si és preferible començar una negociació amb un especulador o bé amb una empresa
to-report should-negotiate-with-speculator-or-enterprise

; es tendeix a voler vendre accions a un especulador si es té un alt valor estimat en accions,
; i a voler comprar accions a una empresa si es tenen poques accions però suficients diners
let should-negotiate-with-speculator 3 * get-stock-estimated-value > money

; s'aporta certa aleatorietat
if random 100 > 97 [

    set should-negotiate-with-speculator (not should-negotiate-with-speculator)
]

report should-negotiate-with-speculator

end

```

Figura 33: funció should-negotiate-with-speculator-or-enterprise


```

; Determina si és preferible comprar o vendre
to-report should-buy-or-sell

; si no té cap acció, només es voldrà comprar
if get-stock-num = 0 [
  report true
]

; si es tenen més diners que el que s'estima que és té en valor d'accions es tendeix a comprar, altrament a vendre
let should-buy money  $\geq$  5 * get-stock-estimated-value

; es dona un marge d'atzar per poder canviar d'idea
if random 10 > 7 [
  set should-buy (not should-buy)
]

report should-buy
end

```

Figura 34: funció should-buy-or-sell

La funció «negotiate-to-buy» inicia o continua una negociació amb l'agent actuant com a comprador (si està continuant una negociació, processa la darrera oferta rebuda del venedor), i determina les condicions de la nova proposta, fent servir «determine-buy-proposal-conditions», on pot donar-se el cas que s'estimi la darrera oferta prou bona com per ordenar la transacció al mercat («make-transaction»), o bé es decideixi desistir de la negociació.

```

; Realitza un pas de negociació de compra d'accions entre un especulador i un altre agent (especulador o empresa)
to negotiate-to-buy [potential-seller previous-offer]

; es determinen les condicions de la proposta de compra que es vol fer, amb el nom de l'empresa
; de qui es volen adquirir accions, la quantitat que es vol comprar i el preu; es posa en una llista
let buy-proposal determine-buy-proposal-conditions potential-seller previous-offer

; només si s'han pogut determinar condicions acceptables s'acaba negociant
if length buy-proposal != 0 [

  ; s'envia un missatge de proposta de compra amb la llista de característiques de la mateixa
  send-message potential-seller propose buy-proposal

  ; es marca la negociació com a iniciada (per si encara no ho estava)
  set is-negotiating true

  ; es marca que la negociació acaba de progressar
  set has-negotiation-progressed true

  ; es marca que s'espera resposta (s'esperarà un torn)
  set is-waiting-for-response true

  ; es marca que l'agent vol actuar com a comprador
  set has-buyer-role true

  ; l'agent amb qui es vol negociar és aquell a qui es vol comprar
  set current-negotiator potential-seller
]

end

```

Figura 35: funció negotiate-to-buy

```

; Determina les condicions o característiques d'una proposta de compra que vol fer un especulador,
; i es retornen en forma de llista ordenada, amb l'id de l'empresa de les accions, seguit del nombre
; d'accions i finalment amb el preu que es disposa a pagar; es pot tenir en compte l'oferta prèvia
to-report determine-buy-proposal-conditions [potential-seller previous-offer]

; el venedor potencial ha de seguir existint
if is-turtle? potential-seller [

  let enterprise-id nobody

  let is-potential-seller-enterprise false

  ask potential-seller [

    set is-potential-seller-enterprise (breed = enterprises)
  ]

; si el venedor potencial és una empresa, es demanaran accions d'aquella empresa
ifelse is-potential-seller-enterprise [

  ask potential-seller [

    set enterprise-id who
  ]
]

; altrament s'ha de decidir de quina empresa es volen demanar accions
[

  set enterprise-id choose-enterprise-to-buy previous-offer
]

; si no s'ha descartat l'operació
if enterprise-id != nobody [

  let stock-num 0

  ; per decidir el nombre d'accions a comprar i el preu, cal tenir en compte:
  ; - quantitat d'accions que ja es tenen de l'empresa
  ; - diners totals que es tenen
  ; - estimació de valor que es fa per l'acció de l'empresa
  ; - coeficient de risc (voldrà més accions si el coeficient és gran)
  ; - l'oferta anterior (si n'hi ha hagut)

  ; quantitat d'accions que ja es tenen de l'empresa
  let owned-stock-num table:get-or-default stock-quantity-per-enterprise enterprise-id 0

  ; factor que té en compte els diners i les accions que es tenen ja de l'empresa
  let money-and-owned-stock-factor money * 0.1 - owned-stock-num * 0.3

  ; estimació de valor que es fa per l'acció de l'empresa
  let estimated-stock-value table:get-or-default stock-value-estimation-per-enterprise enterprise-id 1

  ; es completa la fórmula tenint en compte l'estimació de valor de les accions de l'empresa i el coeficient de risc
  let possible-stock-num money-and-owned-stock-factor / estimated-stock-value + (money-and-owned-stock-factor * risk-coefficient) * 0.3

  ; es fixa un mínim d'accions
  set stock-num max (list 100 possible-stock-num)

  ; aplicació d'una certa aleatorietat
  set stock-num round (stock-num * 0.5 + ((stock-num * random 100) / 100))
  ; si hi ha hagut una oferta anterior, no se sobrepassa la quantitat oferta (potser és tot el que podien oferir)
  if length previous-offer != 0 [
    set stock-num round (min (list stock-num (item 1 previous-offer)))
  ]

  ; es parteix d'un preu baix, a veure si el venedor accepta (però no tan baix com per esgotar fàcilment la seva paciència)
  ; el preu inicial es calcula en base al nombre d'accions i a una estimació del seu valor individual
  let price stock-num * estimated-stock-value * ((40 + random 25) / 100)

  ; si hi ha hagut oferta prèvia, s'intenta cedir una mica a ella per evitar esgotar la paciència de l'altra part
  if length previous-offer != 0 [

    let offered-stock-num (item 1 previous-offer)
    let offered-price (item 2 previous-offer)

    ; si l'oferta és igual o millor que la proposta que es volia fer, s'accepta immediatament
    let can-accept-offer offered-stock-num >= stock-num and offered-price <= price

    ; si l'oferta és convincent (s'apropa suficientment a les condicions volgudes), es pot arribar a acceptar
    if not can-accept-offer [

      set can-accept-offer (stock-num - offered-stock-num < 0.3 * stock-num * (1 - risk-coefficient)) and (offered-price - price < 3 * price * (1 - risk-coefficient))
    ]

    ; no es poden pagar més diners dels que es tenen
    set can-accept-offer (can-accept-offer and money > offered-price)

    ; si s'ha decidit acceptar, es duu a terme la transacció
    ifelse can-accept-offer [

      make-transaction potential-seller previous-offer

      report (list)
    ]

    ; en cas contrari es planteja una nova proposta de comprador a venedor
    [

      let negotiation-weight (25 + random 30) / 100
      let conserved-weight 1 - negotiation-weight

      set stock-num round (stock-num * conserved-weight + offered-stock-num * negotiation-weight)
      set price max (list transaction-tax (price * conserved-weight + offered-price * negotiation-weight))
    ]
  ]

  ; no es poden oferir més diners dels disponibles (amb un cert marge)
  set price min (list price (money * 0.8))

  report (list enterprise-id stock-num price)
]

report (list)
end

```

Figura 36: funció determine-buy-proposal-conditions

```

; Realitza una transacció en què l'agent paga a un venedor i aquest li dona la quantitat d'accions ofertes d'una empresa
to make-transaction [seller sell-offer]

  let offer-enterprise (item 0 sell-offer)
  let offer-quantity (item 1 sell-offer)
  let offer-price (item 2 sell-offer)

  ; s'estima el valor per acció de l'empresa com el preu pel qual es compra una acció individual
  let estimated-stock-value offer-quantity / offer-price

  ; resta els diners de compra al comprador
  set money (money - offer-price)

  ; es fixa el cost de transacció a pagar al mercat (amb part variable, depenent de l'import a pagar, i una part fixa)
  let market-transaction-cost 0.01 * offer-price + transaction-tax

  ; es paga al mercat per fer la transacció
  pay-market market-transaction-cost

  ask seller [

    ; suma els diners de venda al venedor
    set money (money + offer-price - market-transaction-cost)

    ; si l'agent té més diners que mai, ho anota
    if best-moment-money < money [

      set best-moment-money money
    ]

    if breed = speculators [

      ; el venedor entrega les accions de l'empresa acordada
      table:put stock-quantity-per-enterprise offer-enterprise ((table:get stock-quantity-per-enterprise offer-enterprise) - offer-quantity)

      ; s'actualitza el valor estimat d'acció (mantenint en certa consideració el valor previ)
      table:put stock-value-estimation-per-enterprise offer-enterprise ((table:get-or-default stock-value-estimation-per-enterprise offer-enterprise 1) * 0.5) + estimated-stock-value * 0.5
    ]

    if breed = enterprises [

      ; s'actualitza el valor estimat d'acció (mantenint en certa consideració el valor previ)
      set stock-value-estimation (stock-value-estimation * 0.5 + estimated-stock-value * 0.5)
    ]

    ; s'augmenta el nombre de transaccions realitzades
    set transaction-num (transaction-num + 1)

    ; s'augmenta el nombre de vendes realitzades
    set sales-num (sales-num + 1)

    ; la negociació actual ha conclòs
    stop-current-negotiation
  ]

  ; el comprador aconsegueix les accions
  table:put stock-quantity-per-enterprise offer-enterprise ((table:get-or-default stock-quantity-per-enterprise offer-enterprise 0) + offer-quantity)

  ; s'actualitza el valor estimat d'acció (mantenint en certa consideració el valor previ)
  table:put stock-value-estimation-per-enterprise offer-enterprise ((table:get-or-default stock-value-estimation-per-enterprise offer-enterprise 1) * 0.5) + estimated-stock-value * 0.5

  ; s'augmenta el nombre de transaccions realitzades
  set transaction-num (transaction-num + 1)

  ; la negociació actual ha conclòs
  stop-current-negotiation
]

; el comprador aconsegueix les accions
table:put stock-quantity-per-enterprise offer-enterprise ((table:get-or-default stock-quantity-per-enterprise offer-enterprise 0) + offer-quantity)

; s'actualitza el valor estimat d'acció (mantenint en certa consideració el valor previ)
table:put stock-value-estimation-per-enterprise offer-enterprise ((table:get-or-default stock-value-estimation-per-enterprise offer-enterprise 1) * 0.5) + estimated-stock-value * 0.5

; s'augmenta el nombre de transaccions realitzades
set transaction-num (transaction-num + 1)

; la negociació actual ha conclòs
stop-current-negotiation

; mostra la transacció realitzada
if show-protocol-messages [

  print (word self " -> " seller " : MAKE-TRANSACTION " sell-offer)

  print (word "total market money: " market-money)
]
end

```

Figura 37: funció make-transaction

La funció «negotiate-to-sell» inicia o continua una negociació amb l'agent actuant com a venedor (si està continuant una negociació, processa la darrera oferta proposta del comprador), i determina les condicions de la nova oferta, fent servir «determine-sell-offer-conditions», on pot donar-se el cas que s'estimi la darrera oferta prou bona com per ordenar la transacció al mercat («make-transaction»), o bé es decideixi desistir de la negociació.

```

; Realitza un pas de negociació de venda d'accions entre un agent i un altre
to negotiate-to-sell [potential-buyer previous-proposal]

; es determinen les condicions de la proposta de compra que es vol fer, amb el nom de l'empresa
; de qui es volen adquirir accions, la quantitat que es vol comprar i el preu; es posa en una llista
let sell-offer determine-sell-offer-conditions potential-buyer previous-proposal

; només si s'han pogut determinar condicions acceptables s'acaba negociant
if length sell-offer != 0 [

    ; s'envia un missatge d'oferta amb la llista de característiques de la mateixa
    send-message potential-buyer offer sell-offer

    ; es marca la negociació com a iniciada (per si encara no ho estava)
    set is-negotiating true

    ; es marca que la negociació acaba de progressar
    set has-negotiation-progressed true

    ; es marca que s'espera resposta (s'esperarà un torn)
    set is-waiting-for-response true

    ; es marca que l'agent no vol actuar com a comprador (sinó com a venedor)
    set has-buyer-role false

    ; l'agent amb qui es vol negociar és aquell a qui es vol vendre
    set current-negotiator potential-buyer
]

end

```

Figura 38: funció negotiate-to-sell

```

; Determina les condicions o característiques d'una oferta de venda que vol fer un agent,
; i es retornen en forma de llista ordenada, amb l'id de l'empresa de les accions, seguit del nombre
; d'accions i finalment amb el preu que es disposa a acceptar; es pot tenir en compte una proposta prèvia
to-report determine-sell-offer-conditions [potential-buyer previous-proposal]

; el comprador potencial ha de seguir existint
if is-turtle? potential-buyer [

  let enterprise-id nobody
  let max-stock-to-offer 999999

  ; si s'és una empresa, s'oferiran accions de l'empresa
  ifelse breed = enterprises [

    set enterprise-id who
  ]

  ; altrament s'ha de decidir de quina empresa es volen oferir accions
  [

    set enterprise-id choose-enterprise-to-sell previous-proposal

    if enterprise-id != nobody [

      ; només es poden oferir tantes accions com es tenen
      set max-stock-to-offer table:get stock-quantity-per-enterprise enterprise-id
    ]
  ]

  ; si no s'ha descartat l'operació
  if enterprise-id != nobody [

    ; per decidir el nombre d'accions a oferir i el preu de l'oferta, cal tenir en compte:
    ; - estimació de valor que es fa per l'acció de l'empresa
    ; - coeficient de risc si s'és especulador o bé coeficient de preu alt si s'és empresa
    ;   (voldrà vendre les accions a més preu si el coeficient és gran)
    ; - la proposta anterior (si n'hi ha hagut)

    let stock-num 0
    let price 0

    ; si no hi ha hagut una proposta anterior
    ifelse length previous-proposal = 0 [

      ; es fixa un preu inicial molt elevat, proporcional al màxim nombre de diners que pot tenir un especulador d'inici
      set price (max-money-speculator * 0.5 + (max-money-speculator * random 200) / 100)

      let estimated-stock-value 0
      ; nombre d'accions que s'haurien d'oferir pel preu fixat abans si es respectés el valor per acció estimat
      let estimated-stock-num (price / estimated-stock-value)

      ; es fa dependre el nombre d'accions del coeficient (de risc o preu alt; com més alt menys accions voldrà vendre al preu fixat)
      set stock-num max (list 1 (estimated-stock-num * (1 - coefficient)))

      ; es limita al nombre d'accions que es tenen
      set stock-num round (min (list stock-num max-stock-to-offer))
    ]

    ; si hi ha hagut una proposta anterior
    [

      let proposed-enterprise-id (item 0 previous-proposal)
      let proposed-stock-num (item 1 previous-proposal)
      let proposed-price (item 2 previous-proposal)

      ; s'oferirà un nombre d'accions relativament proper a la proposta rebuda
      set stock-num (proposed-stock-num) + ((random (50 * proposed-stock-num)) / 100) - ((random (25 * proposed-stock-num)) / 100)

      ; si la proposta anterior és comptable i igual o millor que l'oferta que s'anava a fer, s'accepta immediatament
      if is-negotiating and proposed-enterprise-id = enterprise-id and proposed-stock-num <= stock-num and proposed-price >= price [

        let seller self

        ; es demana al mercat que dugui a terme la transacció, amb el comprador pagant al venedor
        ask potential-buyer [

          make-transaction seller previous-proposal
        ]

        report (list)
      ]
    ]

    ; si hi ha hagut proposta prèvia, s'intenta cedir una mica a ella per evitar esgotar la paciència de l'altra part
    if length previous-proposal != 0 [

      let proposed-stock-num (item 1 previous-proposal)
      let proposed-price (item 2 previous-proposal)

      let negotiation-weight (25 + random 30) / 100
      let conserved-weight 1 - negotiation-weight

      set stock-num round (stock-num * conserved-weight + proposed-stock-num * negotiation-weight)

      ; cal limitar el nombre d'accions que s'ofereixen al nombre d'accions que es tenen d'una empresa
      if breed = speculators [

        set stock-num min (list stock-num table:get stock-quantity-per-enterprise enterprise-id)
      ]

      set price max (list transaction-tax (price * conserved-weight + proposed-price * negotiation-weight))
    ]

    report (list enterprise-id stock-num price)
  ]
]

report (list)
end

```

Figura 39: funció determine-sell-offer-conditions

La funció «manage-statistics» registra el nombre de ticks transcorreguts des del darrer mostreig de dades estadístiques; després d'un nombre de ticks determinat, torna a mostrar noves estadístiques de cada agent amb «show-statistics».

```
; Controla el fet de mostrar dades estadístiques de forma periòdica
] to manage-statistics

  ; mostra dades estadístiques periòdicament
  ifelse ticks-since-statistics > ticks-to-show-statistics [

    print "\n\n\n\nBATCH OF STATISTICS:\n"

    ask turtles [

      show-statistics
    ]

    print (word "total market money: " market-money)

    set ticks-since-statistics 0
  ]

  [
    set ticks-since-statistics (ticks-since-statistics + 1)
  ]
end
```

Figura 40: funció manage-statistics

```
; Mostra dades estadístiques sobre l'agent
to show-statistics

  ; s'ignoren els subordinats de coalicions
  if breed = speculators and is-in-coalition and not is-coalition-master [

    stop
  ]

  print (word self " has lived for " (ticks - start-tick) " ticks:\n\tstart money: " start-money "; current money: " money "; best moment money: " best-moment-money
  "\n\ttransaction num: " transaction-num " (purchases: " (transaction-num - sales-num) "; sales: " sales-num ")")

  ifelse breed = speculators [

    print (word "\trisk coefficient: " risk-coefficient)

    if is-coalition-master [

      print (word "\tis the master of a coalition with " coalition-subordinate)
    ]
  ]

  [

    if breed = enterprises [

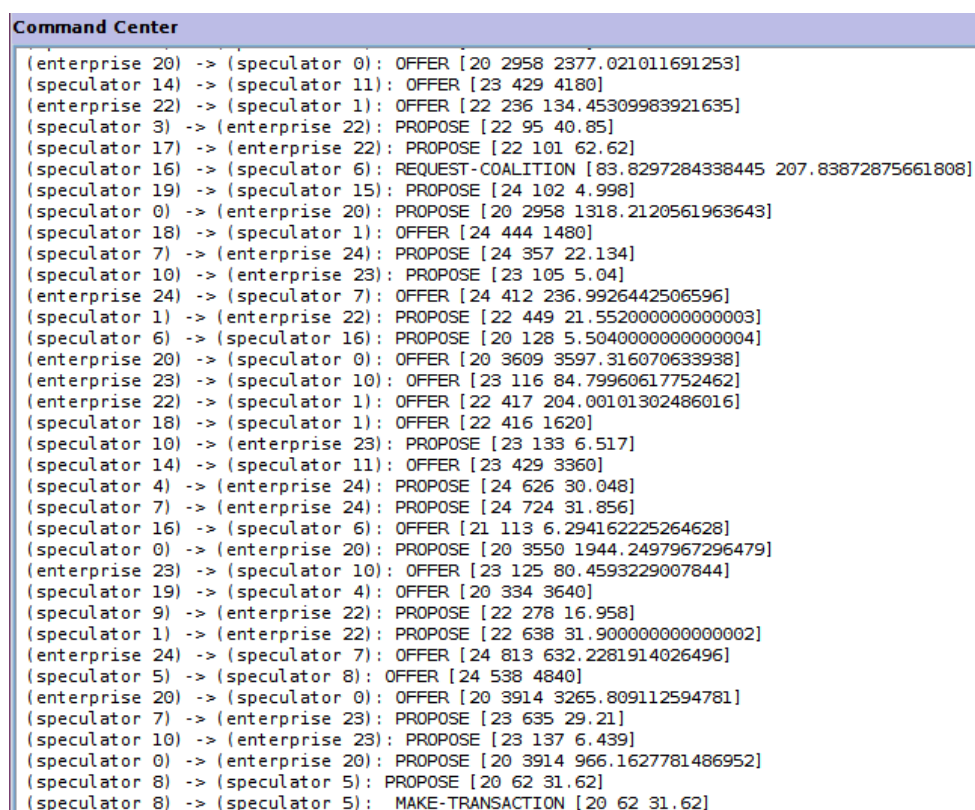
      print (word "\thigh price coefficient " high-price-coefficient)
    ]
  ]

  print "\n\n"
end
```

Figura 41: funció show-statistics

6. Experiments realitzats: descripció, anàlisi i conclusions

El primer pas quan es treballa en un sistema multiagent i es volen analitzar allò que succeeix al sistema és verificar que les funcionalitats esperades funcionen de la forma desitjada. En aquest sistema s'han dedicat grans esforços a garantir el correcte pas de missatges entre els agents, i s'ha analitzat el flux de les comunicacions recollides en aquests missatges per verificar que efectivament es comuniquen, gràcies al mostreig d'aquests missatges a la consola.



```
Command Center
(enterprise 20) -> (speculator 0): OFFER [20 2958 2377.021011691253]
(speculator 14) -> (speculator 11): OFFER [23 429 4180]
(enterprise 22) -> (speculator 1): OFFER [22 236 134.45309983921635]
(speculator 3) -> (enterprise 22): PROPOSE [22 95 40.85]
(speculator 17) -> (enterprise 22): PROPOSE [22 101 62.62]
(speculator 16) -> (speculator 6): REQUEST-COALITION [83.8297284338445 207.83872875661808]
(speculator 19) -> (speculator 15): PROPOSE [24 102 4.998]
(speculator 0) -> (enterprise 20): PROPOSE [20 2958 1318.2120561963643]
(speculator 18) -> (speculator 1): OFFER [24 444 1480]
(speculator 7) -> (enterprise 24): PROPOSE [24 357 22.134]
(speculator 10) -> (enterprise 23): PROPOSE [23 105 5.04]
(enterprise 24) -> (speculator 7): OFFER [24 412 236.9926442506596]
(speculator 1) -> (enterprise 22): PROPOSE [22 449 21.552000000000003]
(speculator 6) -> (speculator 16): PROPOSE [20 128 5.5040000000000004]
(enterprise 20) -> (speculator 0): OFFER [20 3609 3597.316070633938]
(enterprise 23) -> (speculator 10): OFFER [23 116 84.79960617752462]
(enterprise 22) -> (speculator 1): OFFER [22 417 204.00101302486016]
(speculator 18) -> (speculator 1): OFFER [22 416 1620]
(speculator 10) -> (enterprise 23): PROPOSE [23 133 6.517]
(speculator 14) -> (speculator 11): OFFER [23 429 3360]
(speculator 4) -> (enterprise 24): PROPOSE [24 626 30.048]
(speculator 7) -> (enterprise 24): PROPOSE [24 724 31.856]
(speculator 16) -> (speculator 6): OFFER [21 113 6.294162225264628]
(speculator 0) -> (enterprise 20): PROPOSE [20 3550 1944.2497967296479]
(enterprise 23) -> (speculator 10): OFFER [23 125 80.4593229007844]
(speculator 19) -> (speculator 4): OFFER [20 334 3640]
(speculator 9) -> (enterprise 22): PROPOSE [22 278 16.958]
(speculator 1) -> (enterprise 22): PROPOSE [22 638 31.900000000000002]
(enterprise 24) -> (speculator 7): OFFER [24 813 632.2281914026496]
(speculator 5) -> (speculator 8): OFFER [24 538 4840]
(enterprise 20) -> (speculator 0): OFFER [20 3914 3265.809112594781]
(speculator 7) -> (enterprise 23): PROPOSE [23 635 29.21]
(speculator 10) -> (enterprise 23): PROPOSE [23 137 6.439]
(speculator 0) -> (enterprise 20): PROPOSE [20 3914 966.1627781486952]
(speculator 8) -> (speculator 5): PROPOSE [20 62 31.62]
(speculator 8) -> (speculator 5): MAKE-TRANSACTION [20 62 31.62]
```

Figura 42: missatges de protocols de comunicació entre agents a la consola: l'anàlisi del seu flux i evolució demostra que el pas de missatges funciona de la forma esperada

Per a una major garantia del funcionament del sistema, s'han diposat una sèrie de dades estadístiques que es mostren en consola cada cert temps, i que mostren, entre altres coses, les coalicions que formen i trenquen els agents, així com la quantitat de transaccions (compres i vendes) que han realitzat. S'ha constatat que aquestes dades evolucionen al llarg del temps, demostrant que s'han dut a terme transaccions i s'han format i trencat coalicions, cosa que només és possible si el pas de missatges funciona correctament, constant el seu bon funcionament.

Command Center

BATCH OF STATISTICS:

(speculator 2) has lived for 140027 ticks:
start money: 1392; current money: 138.95023012579912; best moment money: 2970.4403345441087
transaction num: 344 (purchases: 183; sales: 161)
risk coefficient: 0.28

(speculator 0) has lived for 140027 ticks:
start money: 1524; current money: 293.7437036086779; best moment money: 3297.541416474961
transaction num: 236 (purchases: 129; sales: 107)
risk coefficient: 0.55

(speculator 8) has lived for 140027 ticks:
start money: 1588; current money: 458.9680417107412; best moment money: 3658.580110469753
transaction num: 194 (purchases: 105; sales: 89)
risk coefficient: 0.63

(enterprise 21) has lived for 140027 ticks:
start money: 36382; current money: 33871.96221378537; best moment money: 39154.67342464527
transaction num: 34 (purchases: 0; sales: 34)
high price coefficient 0.61

(speculator 17) has lived for 140027 ticks:
start money: 1445; current money: 0.003952409415122347; best moment money: 2179.076266609285
transaction num: 35 (purchases: 17; sales: 18)
risk coefficient: 0.43

(speculator 5) has lived for 140027 ticks:
start money: 1516; current money: 75.86462908929815; best moment money: 2370.484788404864
transaction num: 143 (purchases: 81; sales: 62)
risk coefficient: 0.3

(enterprise 22) has lived for 140027 ticks:
start money: 11067; current money: 11761.09533930591; best moment money: 14210.512952414869
transaction num: 35 (purchases: 0; sales: 35)
high price coefficient 0.53

(speculator 10) has lived for 140027 ticks:
start money: 1512; current money: 265.2508546842784; best moment money: 3360.129580142827
transaction num: 237 (purchases: 134; sales: 103)
risk coefficient: 0.48

Command Center

(speculator 14) has lived for 140027 ticks:
start money: 1680; current money: 25.665719320686783; best moment money: 1680
transaction num: 44 (purchases: 16; sales: 28)
risk coefficient: 0.5900000000000001

(speculator 19) has lived for 140027 ticks:
start money: 1067; current money: 0.002617302313390333; best moment money: 1684.4885194079259
transaction num: 26 (purchases: 8; sales: 18)
risk coefficient: 0.29

(speculator 13) has lived for 140027 ticks:
start money: 1386; current money: 3.0127258665683656; best moment money: 4415.553964325209
transaction num: 99 (purchases: 50; sales: 49)
risk coefficient: 0.6

(speculator 1) has lived for 140027 ticks:
start money: 1634; current money: 394.4194457000575; best moment money: 2320.164464806794
transaction num: 37 (purchases: 18; sales: 19)
risk coefficient: 0.28

(speculator 16) has lived for 140027 ticks:
start money: 746; current money: 89.92813886920787; best moment money: 1658.8453117050863
transaction num: 13 (purchases: 6; sales: 7)
risk coefficient: 0.71

(speculator 7) has lived for 140027 ticks:
start money: 1688; current money: 53.837428814043044; best moment money: 2331.611895675254
transaction num: 51 (purchases: 24; sales: 27)
risk coefficient: 0.72

(enterprise 20) has lived for 140027 ticks:
start money: 9267; current money: 12349.81817962932; best moment money: 13815.861984051207
transaction num: 29 (purchases: 0; sales: 29)
high price coefficient 0.54

(enterprise 24) has lived for 140027 ticks:
start money: 10362; current money: 15242.947921037538; best moment money: 16255.445371050886
transaction num: 41 (purchases: 0; sales: 41)
high price coefficient 0.49

total market money: 1644.369130777612
(speculator 15) and (speculator 3) have formed a coalition.
(speculator 2) and (speculator 10) have formed a coalition.
(speculator 15) and (speculator 3) have broken their coalition.
(speculator 2) and (speculator 10) have broken their coalition.

Figura 43: dades estadístiques de la consola, que mostren l'evolució dels agents cada cert temps, constatant el correcte funcionament del programa ja que reflexen negociacions completades amb èxits (es fan transaccions i es formen i trenquen coalicions)

Fins ara s'ha pogut veure que el programa funciona pel que fa al pas de missatges i execució de transaccions, de manera que tot seguit s'analitzarà en més detall com evoluciona el mercat al llarg del temps mitjançant l'ampli conjunt de gràfiques presents a la interfície, la funció de les quals és precisament oferir una visió global molt detallada del mercat i dels seus agents. A continuació es presenten les conclusions extretes gràcies a l'anàlisi de cada gràfica. Es mostra una única imatge de cada gràfica, paradigmàtica del comportament habitual de cadascuna, determinat a partir de moltes execucions amb variacions dels diferents paràmetres del programa, com el nombre de cada tipus d'agent, els seus coeficients i diners inicials, etcètera.

Observant la gràfica dels diners de mitja dels especuladors en funció del temps es pot apreciar un descens considerable dels diners dels especuladors a l'inici de la seva estança al mercat. Això s'explica perquè els especuladors comencen amb uns certs diners però cap acció, i es veuen obligats a comprar accions (i per tant perdre part del seu patrimoni) amb l'esperança de revendre-les amb guany econòmic. Es pot observar que a partir de llavors els diners de mitja del conjunt dels especuladors es mantenen força constants, ja que per molts que alguns perdin molt i altres ho guanyin, els diners circulen entre especuladors, de manera que la suma absoluta per al conjunt és nul·la, tret dels casos en què es compra a les empreses, únic cas en què els diners poden sortir del grup dels especuladors, com a l'inici del mercat. També és destacable el fet que la gran majoria d'especuladors acaben amb més diners que els que comencen, tot i que només una certa part s'arruïna (els més pobres); la majoria resta en una situació de perdre entre el 20 i el 50% del seu patrimoni, mentre que una petita minoria aconsegueix grans guanys (els més rics), que en alguns casos poden suposar un augment de més d'un 400% en el patrimoni d'aquests agents privilegiats. Aquest comportament no és pas sorprenent, i encaixa força bé amb el de molts mercats, on uns pocs aconsegueixen grans guanys mentre la majoria pateix pèrdues moderades (i ocasionalment fortes). Els més rics, però, pateixen en ocasions grans davallades de capital, a raó de grans compres d'accions que després no aconsegueixen vendre amb el guany que esperaven; la volatilitat dels més rics és elevada, i porta a canviar de mans la posició número 1 del rànking en nombroses ocasions.

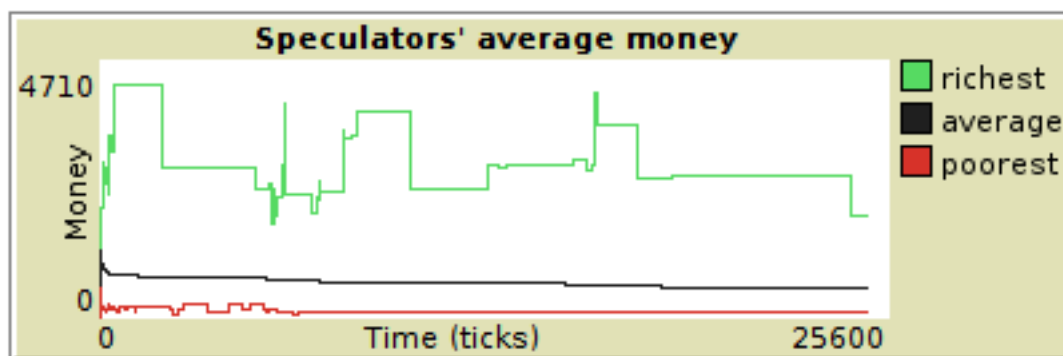


Figura 44: gràfica dels diners de mitja dels especuladors en funció del temps

Quan es va plantejar el sistema multiagent, es volia esbrinar si un comportament arriscat o un de conservador (o bé un punt mig entre ambdós) tendiria a un major guany econòmic, i per això es va construir una gràfica que comparés els diners de mitja dels especuladors segons el seu grup per coeficient de risc. S'ha descobert que aquest el valor d'aquest coeficient no és clarament proporcional ni inversament proporcional als diners que aconseguixen els agents: al mercat intervenen un nombre de factors suficientment gran, entre ells l'atzar, com per fer que aquest coeficient no es pugui vincular amb claredat amb l'èxit o el desastre econòmic. Sí que ocorre, però, en algunes execucions, que aquells que tenen un coeficient de risc molt elevat, aconseguixen de cop un gran guany econòmic gràcies a una operació financera molt arriscada que ha sortit bé (com vendre un gran nombre d'accions adquirit prèviament, a un preu molt major del pagat). En canvi, en un major nombre d'execucions, tenir un coeficient de risc elevat porta a pitjors resultats econòmics. Podem entendre aquesta variabilitat com una conseqüència inevitable d'arriscar massa: a vegades surt molt bé però la majoria de vegades no ofereix grans resultats.

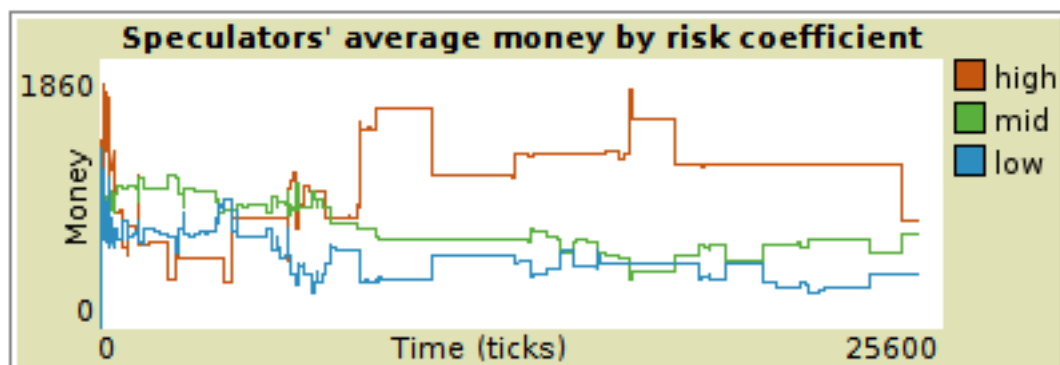


Figura 45: gràfica dels diners de mitja dels especuladors per grups de coeficients de risc

La interfície mostra una altra gràfica ideada per veure si aquells especuladors inicialment més rics aconseguixen mantenir-se més rics, i separar-se encara més dels altres en quant a riquesa. Els resultats d'experimentar amb nombroses execucions variant els diferents paràmetres del programa mostren que els inicialment rics tenen un evident avantatge inicial, però que es va reduint amb el temps fins que desapareix: als primers moments del mercat, poden fer majors inversions i després obtenir més beneficis en la revenda, però

si en algun moment el grup dels rics té pèrdues importants els estàndards i els pobres els igualen en capital, i fins i tot els poden arribar a ultrapassar si saben jugar amb habilitat les seves cartes.

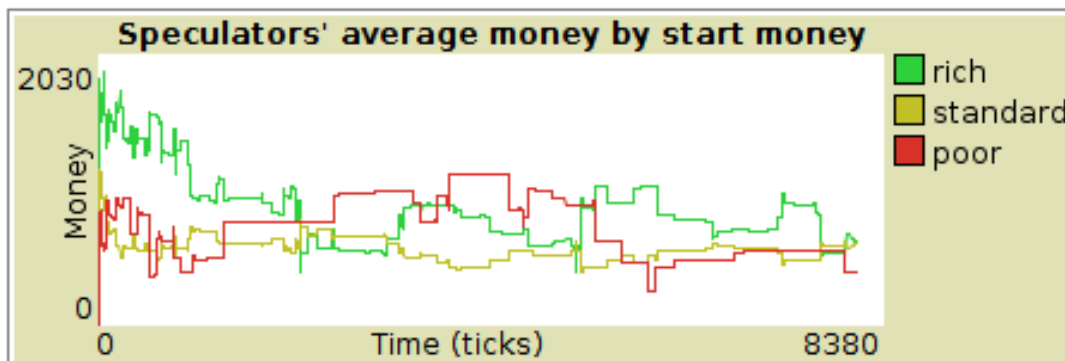


Figura 46: gràfica dels diners de mitja dels especuladors per grups de diners inicials

La desviació estàndard mostra que la diferència que tenen els especuladors té variacions considerables al llarg del temps, accentuant-se quan es donen moltes operacions on uns guanyen molt i altres ho perden; la mitja d'aquesta desviació, però, es manté força constant al llarg del temps, ja que l'habilitat d'uns i altres (les seves capacitats racionals) són força similars, de manera que es van alternant força en la pèrdua i el guany, no creixen les desigualtats de forma indefinida.

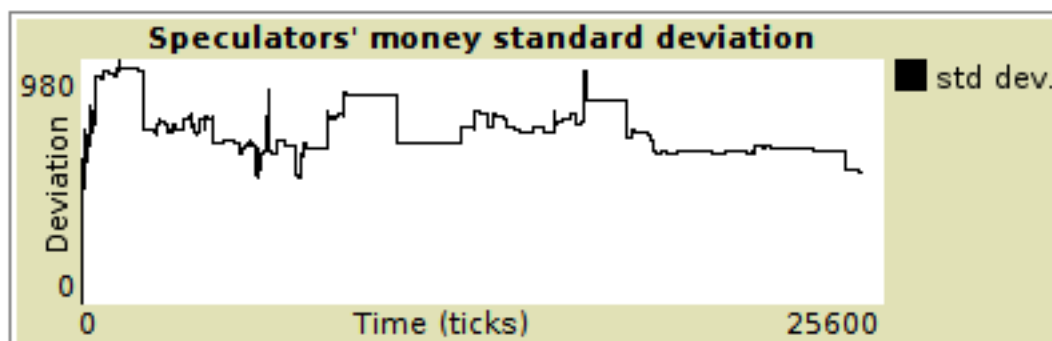


Figura 47: gràfica de la desviació estàndard dels diners dels especuladors

Pel que fa a les empreses, són molt més constants a nivell de patrimoni. Això s'explica perquè elles no compren accions, només les venen, cosa que els proporciona guanys que poden invertir als seus mercats exteriors, unes activitats fora del mercat financer que expliquen els seus continus però lleus canvis de patrimoni: el seu balanç a l'exterior del mercat a vegades creix i a vegades baixa, però com que es va limitar voluntàriament la capacitat d'influència de les accions exteriors de les empreses, aquestes oscil·lacions són força suaus.

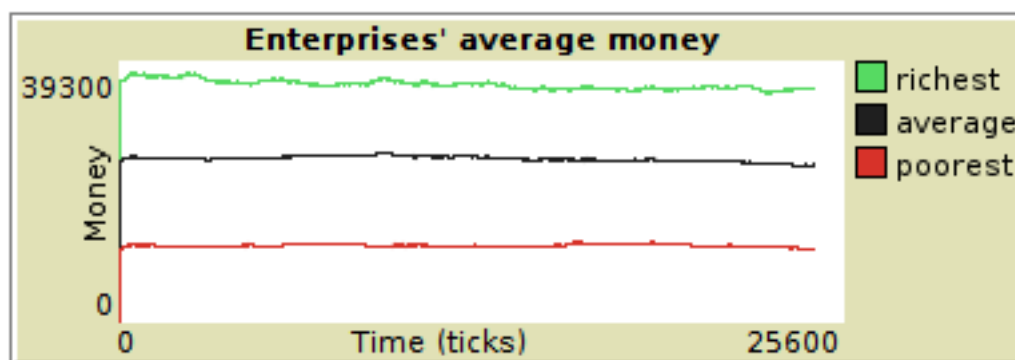


Figura 48: gràfica dels diners de mitja de les empreses en funció del temps

No s'ha demostrat una relació entre el coeficient de preu alt i el patrimoni al llarg del temps, ja que la mitja dels diners de les empreses de cada grup manté les seves diferències amb els altres grups al llarg del temps de forma força estable. Això té sentit, ja que unes empreses opten per vendre poques accions però molt cares, i d'altres decideixen vendre més barat per augmentar la quantitat venduda: totes dues estratègies són perfectament vàlides, igual que la combinació de totes dues, i el mercat ha demostrat acceptar de forma similar totes dues, simplement els especuladors troben més oportú comprar d'una de les formes (molt i barat o poc i car) en unes ocasions i no en unes altres.

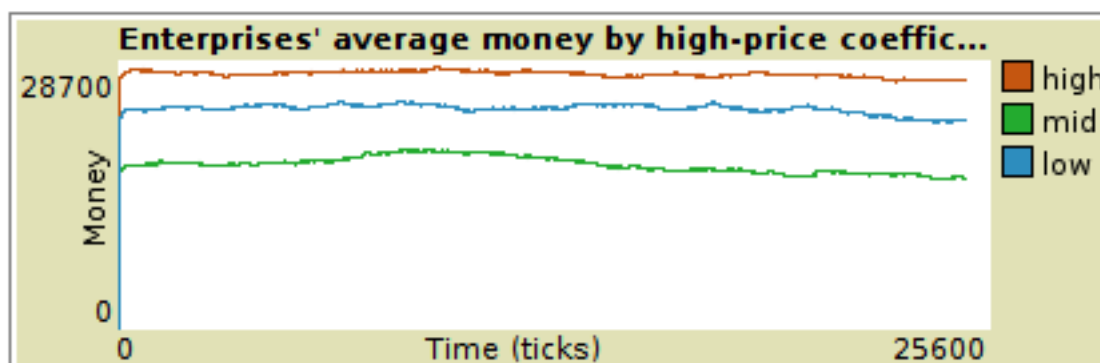


Figura 49: gràfica dels diners de mitja dels especuladors per grups de coeficients de preu elevat

Per tot el que ja ha estat explicat en relació amb l'estabilitat econòmica de les empreses, no hauria de sorprendre que les seves diferències econòmiques per grups de diners inicials es mantinguin també força constants, és a dir, que aquelles empreses que parteixen sent riques al mercat tendeixen a seguir-ho sent, per sobre d'aquelles que comencen amb un patrimoni menor.

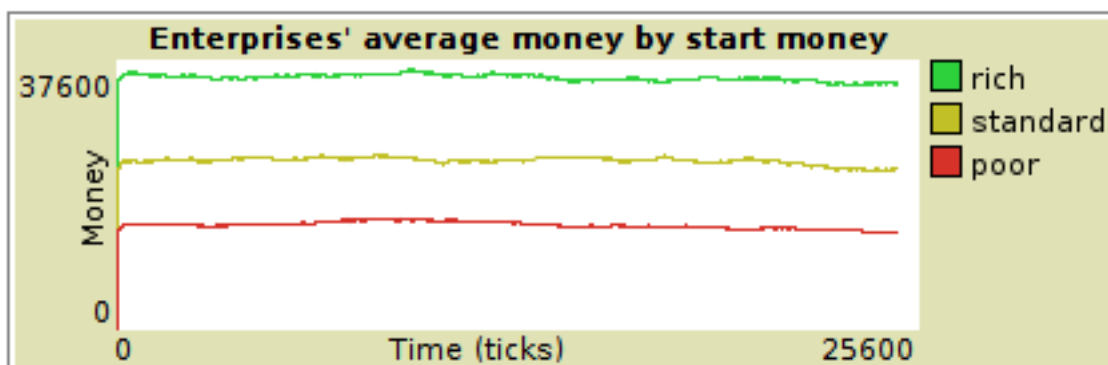


Figura 50: gràfica dels diners de mitja de les empreses per grups de diners inicials

Per tot això, la desviació estàndard dels diners de les empreses també segueix un patró molt constant en el temps, i manté la diferència econòmica que les empreses tenen a l'inici, que òbviament depèn del grau de dispersió de les quantitats inicials amb què les empreses parteixen al mercat; com major és aquest rang major serà la desigualtat i la desviació estàndard, igual que al cas dels especuladors, però es mantindrà força estàndard.

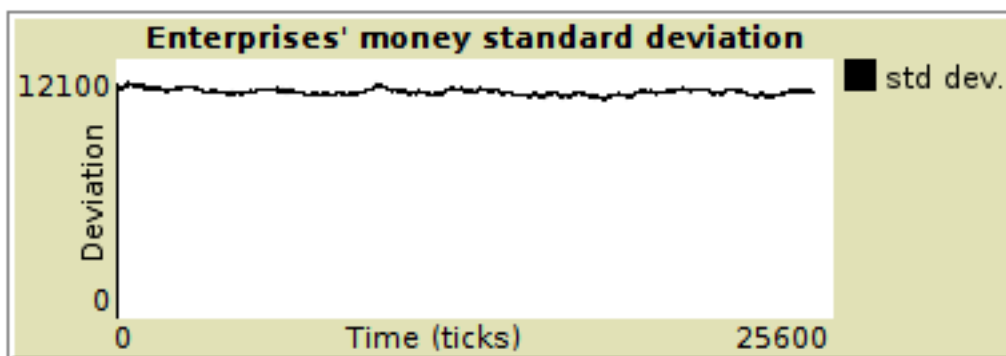


Figura 51: gràfica de la desviació estàndard dels diners de les empreses

Un dels aspectes més interessants de l'anàlisi del mercat és el valor estimat que els agents que participen al mercat atribueixen a les accions de les empreses; s'ha afegit una gràfica que mostra aquesta estimació mitja tant d'empreses com d'especuladors, i una mitja de totes dues, la mitja del mercat, que es pot comparar visualment amb la marca d'una unitat de la divisa del mercat per una acció, que és l'assumpció inicial de tots els agents, que van alterant segons els seus estudis i prediccions, fruit d'analitzar les seves operacions, tant les que es consumeixen com la seva absència, és a dir, les fallides. Es pot observar que al principi temporal del mercat les empreses augmenten de forma considerable l'estimació del valor de les seves accions. Això s'explica pel fet que els especuladors compren moltes accions a l'inici del mercat (ja que encara no tenen cap i les necessiten per comerciar i optar a guanyar diners); precisament és a les empreses a qui compren, que obtenen així grans beneficis econòmics. Es reflexa la llei de l'oferta i la demanda: les empreses entenen que hi ha una gran demanda de les seves accions i procedeixen a pujar la seva estimació de valor i en conseqüència el preu de venda. Els especuladors que compren primer són més afortunats, ja que

compren més barat que els següents, que ho fan quan les empreses ja estan apujant molt el preu. Després d'aquest període inicial, el mercat pateix una certa saturació d'accions, ja que la majoria dels especuladors en tenen moltes, i els costa trobar algun altre especulador aquí revendre. L'única forma d'alliberar-se d'aquest bloqueig de facto és la depreciació de les accions per part dels especuladors, que constaten, a partir de no tenir gaire èxit inicialment revenent accions, que allò que han comprat val menys del que creien a la pràctica. Aquesta depreciació porta eventualment als especuladors a aconseguir revendre les seves accions, i eventualment poder comprar-ne més (a les empreses o a d'altres especuladors); són pocs, però, els que aconseguixen fer fortuna en aquest procés, la majoria acaba amb un balanç desfavorable: aquesta situació comporta a mantenir l'estimació mitja del valor de les accions per part dels especuladors per sota de la valoració de les empreses, que no veuen necessitat de depreciar les seves accions, ja que quan els especuladors no els compren és perquè la seva situació financera no ho permet, no perquè no vulguin les seves accions; a les empreses no els cal depreciar formalment, però en ocasions sí que fan descomptes importants per millorar les vendes, la qual cosa porta de facto a una rebaixa en la seva estimació del valor de les seves accions, i a una pujada del valor anàleg dels especuladors.

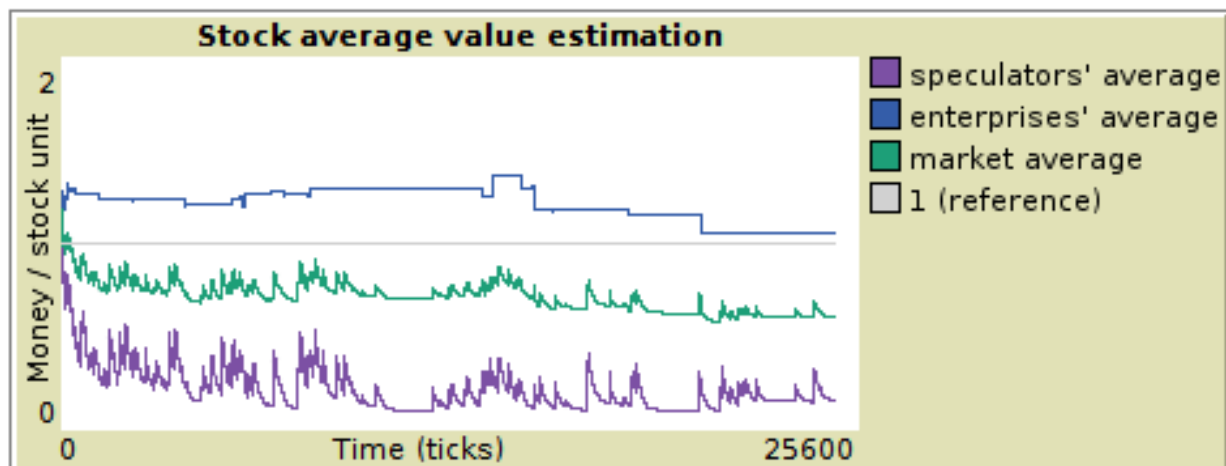


Figura 52: gràfica amb l'estimació del valor mig de les accions de les empreses del mercat

Com s'ha indicat, el moment inicial del mercat és explosiu en quant a vendes, per tant es produeix un gran nombre de transaccions, com es pot veure a la gràfica dels diners del mercat (ja el mercat recapta impostos per les transaccions) i a la gràfica de les transaccions totals; posteriorment modera el seu creixement, i ocasionalment pateix períodes d'estancament, que s'acaben resolent amb nous moviments financers.

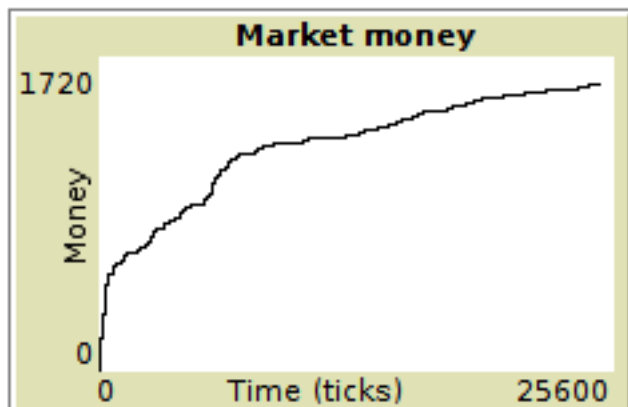


Figura 53: gràfica amb els diners del mercat en funció del temps

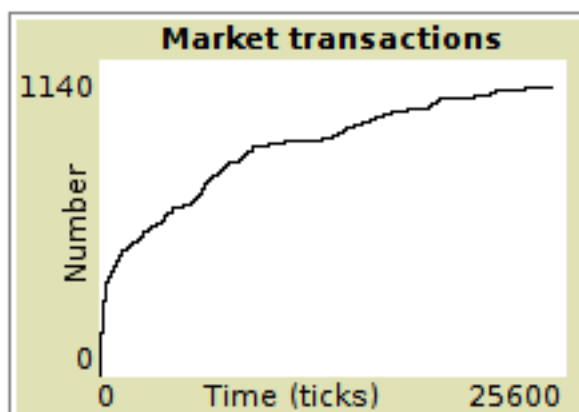


Figura 54: gràfica amb les transaccions totals del mercat en funció del temps

Pel que fa a les coalicions, una gràfica mostra la quantitat de coalicions d'especuladors actives en cada moment, i una altra mostra el seu diner mig. Podem observar que els especuladors decideixen formar coalicions en diferents circumstàncies, quan veuen que la seva situació té un cert bloqueig o volen provar sort en una unió d'agents: s'uneixen tant quan són pobres com quan són rics; el devenir de les coalicions també és divers, i com que els diners de la suma dels agents tendeixen a ser quantiosos, més que la quantitat d'un únic agent de mitja, els moviments financers acostumen a ser molt agressius dins les coalicions, amb grans inversions en accions, de manera que si s'aconsegueixen revendre bé s'obtenen grans guanys, però en cas contrari les pèrdues són d'una magnitud enorme.

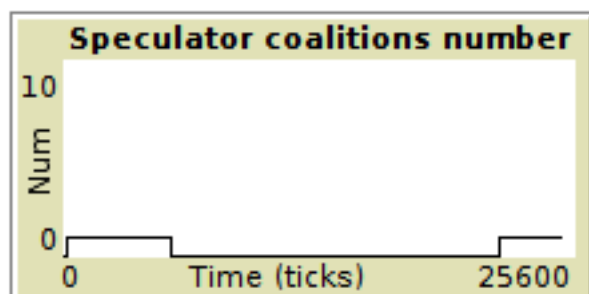


Figura 55: gràfica amb el nombre de coalicions que existeixen a cada moment

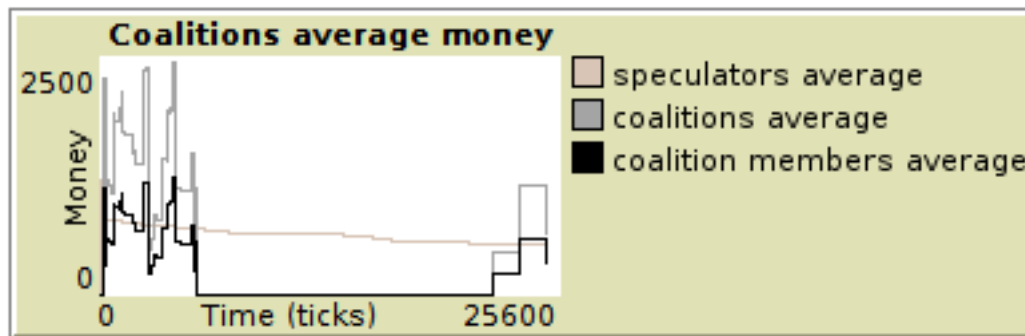


Figura 56: gràfica amb la mitja de diners de les coalicions de cada instant temporal

7. Treball futur: possibles millores i ampliacions

Si bé el mercat financer actual ja és força complex i permet analitzar molts aspectes dels mercats financers reals i d'altres exclusius de la simulació actual, podria ampliar-se per ser encara més similar als mercats reals.

Una possible expansió seria la limitació de la producció d'accions per part de les empreses, que aquí no tenen cap cost econòmic; un límit de producció o un cost per fabricar-les forçaria les empreses a posar en pràctica amb més cura les seves estratègies. També es podria habilitar la compra d'accions per part de les empreses, de forma que poguessin comprar i revendre accions d'altres empreses, actuant com a especuladores del seu valor, i amb propòsits diversos, com intentar desestabilitzar-les financerament per aconseguir un major benefici. Es podria associar cada empresa a una indústria o sector empresarial per vincular-les econòmicament i forçar una competició més severa entre elles, o bé tot el contrari, una unió d'interessos.

Precissament aquesta unió d'interessos podria materialitzar-se permetent la creació de coalicions d'empreses, que en aquest treball no és possible, només s'han permès les d'especuladors, i amb un límit de dos especuladors. Es podria expandir el programa amb coalicions d'un nombre major i variable d'integrants, que col·laboressin de forma diferent.

També podria ser interessant introduir en el comportament dels agents la possibilitat d'enganyar deliberadament els altres amb informacions falses, com fer veure que tenen moltes accions d'una empresa quan és fals, pel simple fet de voler afectar l'estimació del valor de les accions d'aquella empresa que fan els altres agents, sense acabar mai venent-les, lògicament, ja que l'agent ha mentit i no les posseeix.

Una altra millora podria consistir en la interconnexió i clusterització de mercats financers: en comptes de tenir un únic mercat financer, es podrien inicialitzar

diversos, i fer possible la interacció entre els agents d'uns i altres mitjançant una entitat supramercat, situada per sobre dels mercats individuals, englobant-los a tots. Cada mercat podria tenir diferents impostos, aranzels per al comerç amb altres i restriccions d'altra mena; fins i tot cadascun podria treballar amb una divisa diferent, com passa al sistema financer mundial de la realitat, fomentant l'especulació no només amb accions d'empreses sinó amb el propi valor de les divises, a partir d'operacions financeres que permetrien fer comparatives de rendiment entre elles.

8. Conclusions finals

Aquesta pràctica final de l'assignatura d'Intel·ligència Artificial Distribuïda ha permès posar en pràctica els coneixements tant teòrics com pràctics adquirits al llarg de tota l'assignatura, consumant-se en el disseny d'un sistema multiagent d'una magnitud i complexitat considerable, consistent en un mercat financer. S'ha pogut practicar també la comunicació entre nodes d'un sistema distribuït, elaborant protocols de missatges propis per a fer efectiva la comunicació entre els agents. Ha estat especialment interessant l'estudi de la informació distribuïda, veure com els agents, amb les seves accions i des de perspectives de coneixement molt parcial del conjunt del sistema, aconsegueixen alterar l'estat global del mateix i en definitiva determinar, de forma més o menys conscient, el seu devenir.