UNIVERSITAT DE BARCELONA

Facultat de Ciències Econòmiques i Empresarials
Departament de Matemàtica Econòmica, Financera i Actuarial

LA MEMÒRIA ALS MERCATS FINANCERS: UNA ANÀLISI MITJANÇANT XARXES NEURALS ARTIFICIALS

Mª Teresa Sorrosal i Forradellas

2005

INTRODUCCIÓ

"El temps i la memòria, o bé el fluir i la permanència, o, encara, l'esdevenir i l'ésser, o l'eternitat de Déu i la fugacitat del món: el conflicte i la complementarietat entre aquests dos aspectes de la realitat i de la vida és una de les més velles qüestions filosòfiques, científiques i tecnològiques i una de les més riques fonts literàries i artístiques."

David Jou (2001:5)

La memòria, juntament amb el pas del temps, ha constituït font d'inspiració i d'investigació en una gran quantitat de disciplines, tant artístiques com científiques. L'esforç que s'hi ha dedicat no ha estat fortuït, sinó causa de la importància que se li atribueix per a la descripció de la realitat que ens envolta. El nostre interès s'orienta envers la realitat financera, i més concretament, en la influència que té la memòria sobre el comportament dels mercats financers.

La recurrència de crisis borsàries, els "comportaments irracionals" dels agents econòmics i les sobrereaccions a canvis d'escenaris, són exemples de fenòmens que cap de les teories financeres existents explica satisfactòriament. Aquesta constatació indueix a cercar nous factors explicatius. Esbrinar si els efectes del passat en l'evolució dels mercats en formen part ens ha dut a demanar-nos: *tenen memòria els mercats financers?* L'origen de la tesi rau en aquesta pregunta.

L'anàlisi i tractament de la memòria en els mercats financers requereixen la utilització d'una metodologia específica que tingui present l'ineludible component "biològic" en la formació dels records. Nosaltres hem optat per l'enfocament connexionista, fent servir les xarxes neurals artificials com a eina que permet combinar les funcions

d'emmagatzematge de coneixement i d'aprenentatge en un sol model de representació d'esdeveniments, a l'igual que ho fa la memòria humana.

El temps i la memòria són dos conceptes interrelacionats. Mentre altres treballs adopten un enfocament del passat des de la variable temps[1], nosaltres ens centrem en l'anàlisi des de la perspectiva de la memòria. Així, els conceptes clau de la tesi es resumeixen en memòria i xarxes neurals artificials, en el context dels mercats financers.

* *

Tal com s'ha plantejat, la pregunta *Tenen memòria els mercats financers?* és una qüestió tancada de resposta binària mitjançant un 'sí' o un 'no'. L'experiència, a més, ens demostra que la majoria d'individus a qui se'ls ha demanat per aquest interrogant gosa a emetre el seu veredicte. Només és quan es sol·licita que s'expliqui què s'ha entès per *memòria*, quan comencen a relluir els primers símptomes de confusió que amaga la pregunta.

Definir 'memòria' no és una tasca fàcil, com tampoc és fer-ho amb altres expressions com ara 'vida' o 'felicitat', d'ús tan quotidià, ni ha estat possible arribar a un acord que satisfaci tothom sobre el concepte subjacent a paraules com 'incertesa', 'risc' o 'rendibilitat' en el camp financer. Davant la impossibilitat de trobar una definició unànime, o bé es recorre a la regulació normativa (aspectes legals fan necessària una definició de 'vida') o a la cohabitació de diferents accepcions, situació en la que es troba el terme 'memòria'. En qualsevol cas, com afirmen Peretó i Magraner (2003:40) referint-se a 'vida', l'estratègia a seguir per a l'anàlisi d'aquests conceptes i per al posterior aprofitament dels coneixements extrets estarà en funció de la definició adoptada. De la mateixa manera, nosaltres haurem de desenvolupar un coneixement teòric i metodològic propi en funció dels diferents tipus de memòria que trobem en els mercats financers.

Un primer criteri amb el qual distingir diferents accepcions de 'memòria' és el del subjecte que recorda, doncs no podem atorgar-li el mateix significat si l'apliquem a un ésser humà que, prenem per cas, a un compost químic.

[1] En aquesta línia es troben les obres d'Ubaldo Nieto de Alba (1998) i de David Ceballos (2003).

La memòria en la Física (Jou, 2001), lligada a la noció de permanència, s'interpreta com la característica de certes magnituds per a mantenir constant el seu valor. Les lleis de conservació aplicables a l'energia, a la quantitat de moviment, etc., descobreixen un nombre de constants físiques universals, com ara les que sorgeixen de la llei de gravitació de Newton, la càrrega i la massa de l'electró o la velocitat de la llum, determinants per a l'evolució del món tal com el coneixem actualment. Una segona manifestació de la memòria en la Física la trobem en les simetries[2]. En concret, segons la simetria d'inversió temporal, un procés o una llei hauria de romandre invariant si canviéssim el sentit del temps.[3]

Un altre sistema en el que participa la memòria, a cavall entre la Física i la Química, el configuren els anomenats *aliatges amb memòria de forma* (*shape memory alloys* o *"smart materials")*[4]. Reben aquest nom perquè encara que perdin la seva forma original, poden recuperar-la si se'ls hi aplica una temperatura adequada. Per a la comprensió d'aquest comportament cal recórrer al nivell microscòpic, on s'aprecien canvis estructurals que, provocats per un augment de la temperatura, activen els processos mecànics necessaris per tornar a l'aliatge la seva aparença inicial. Novament, la memòria en aquests materials s'entén com a constància o permanència, en aquest cas de la forma.

La mateixa idea subjeu quan es parla de la memòria d'un riu, de la seva capacitat per a modificar el curs de l'aigua quan l'acció humana ha modificat el recorregut natural. D'aquest exemple volem ressaltar dos aspectes: la possibilitat d'atribuir memòria a un sistema inert, ja sigui l'aigua (Kröplin, 2004) o un actiu financer; i la diferència entre la memòria individual i la col·lectiva, doncs els records d'un agent econòmic no són els d'un mercat financer, a l'igual que la naturalesa de la memòria d'un riu és diferent de la de cadascuna de les gotes d'aigua que el forma. Podem destacar encara un tercer aspecte relacionat amb l'aigua i la memòria, i és que el primer model d'anàlisi de la dependència entre observacions passades d'una sèrie temporal, degut a H.E. Hurst, sorgí aplicat a la variable que recollia els volums d'aigua d'una presa al riu Nil.

[2] David Jou (2001:47) defineix *simetria* com: "la invariància d'un objecte, d'un procés, d'una llei, per un conjunt de transformacions, físiques o analítiques."
[3] Si bé aquesta simetria és possible en certs processos físics, en l'àmbit financer és més difícil de trobar-la. Règims financers com el d'interès simple impossibiliten aquest tipus de simetria, de la mateixa manera que ho fan règims financers complets. En general, l'existència d'una "fletxa del temps" s'oposa a la simetria temporal.
[4] Més informació sobre aquests materials pot trobar-se en Auricchio, F. et al. (2001).

És obvi que tot sistema amb capacitat per a recordar manté informació que ha adquirit durant la seva història. Per abús del llenguatge, tant a la pròpia facultat mnemònica com al conjunt de dades emmagatzemades se'ls anomena memòria. Per tal d'evitar ambigüitats, en el que segueix nosaltres entenem genèricament com a **memòria** *el conjunt de coneixements adquirits en el passat a través de l'experiència que un individu té emmagatzemats i que pot evocar en el present*. Diferent és la **capacitat de memòria**, que interpretem com *un conjunt de procediments, més o menys complexos, mitjançant el qual el subjecte posseïdor de la mateixa codifica i emmagatzema informació per a usos posteriors*.

En la segona definició distingim dos subsistemes: el *d'arrel* i el *d'adaptació*. Ambdós es nodreixen del mateix conjunt d'informació però es distingeixen pel seu objectiu. Mentre el primer té com a funció preservar la identitat del subjecte, i actua mantenint la constància en les seves propietats definidores; el subsistema d'adaptació permet l'aprenentatge i, contraposat però complementari al primer, actua modificant el comportament de l'individu en base a l'experiència passada.

De la descripció dels dos subsistemes esmentats, podem deduir que hi haurà subjectes amb capacitat de memòria que no disposin d'un d'ells. El subsistema d'arrel, com a requisit necessari per a la identitat d'un ens sí que es trobarà, més o menys desenvolupat, en qualsevol ésser viu o inert. Però el d'adaptació és exclusiu dels organismes biològics, doncs són els únics capaços de modificar el seu comportament en ares a un millor aprofitament de llur situació en el futur. Mentre els aliatges amb memòria de forma tan sols disposen de la capacitat per enregistrar i emmagatzemar uns paràmetres fixes, l'individu que participa en un mercat financer conjuga ambdós capacitats, la de mantenir un coneixement i adaptar-lo al seu entorn. Generalitzant, també ho afirmarem d'un col·lectiu.

* *

En la literatura financera[5] no és estrany parlar de 'memòria', sempre i quan restringim aquest terme a determinats contextos. Tradicionalment s'ha interpretat com la relació funcional entre els valors d'una variable al llarg del temps. Llavors, la dependència

[5] A mode d'exemple podem citar: "A search for long memory in international stock market returns" (1995) de Y-W. Cheung, "Long-Term Memory in Stock Market Prices" (1991) d'A.W. Lo, "Is there long-term memory in UK stock returns?" (1993) de T.C. Mills, "Mean Reversion in Stock Prices. Evidence and Implications" (1988) de J.M. Poterba i L. H. Summers, "Testing memory patterns in the Spanish stock

entre les observacions retardades d'una sèrie temporal és la definidora de la memòria de la sèrie, que en cas de recollir una variable representativa d'un mercat financer, passa a ser una mesura de la memòria del mercat.

A aquesta accepció és a la que s'ha dedicat més atenció, tant pel que fa al debat sobre l'existència o no de dependència en variables financeres com pel que fa a la modelització de les sèries temporals que en presenten. A partir d'ara l'anomenarem ***memòria-dependència***.

Tal com explicarem en el capítol tercer, no s'ha arribat a un acord sobre la naturalesa de les variables que recullen els o rendiments històrics d'actius financers. Els models tradicionals de valoració d'actius (CAPM, APT,...) empren hipòtesis d'independència entre observacions per a poder definir que les variables explicatives segueixen un model de passeig aleatori (*random walk*). Partint d'aquestes premisses, compatibles amb la Hipòtesi dels Mercats Eficients, la conclusió que se'n deriva és la impossibilitat de que esdeveniments passats puguin influir en l'evolució futura de la variable estudiada. Però a partir dels anys 50 amb els estudis de H.E. Hurst, i sobretot a partir de l'article de J.R.M Hosking de l'any 1981 en el que presenta els models ARFIMA capaços de modelitzar sèries temporals amb dependències a llarg termini, comença a qüestionar-se el manteniment de la hipòtesi d'independència. A més, de l'aplicació de diferents tests en dades històriques dels principals mercats financers, s'obtenen resultats que mostren influències de valors passats de la sèrie en la formació de futures cotitzacions.

Els indicis empírics d'aquestes investigacions, però, no són prou concloents com per poder refusar o acceptar la hipòtesi d'independència amb caràcter general, donat que els resultats obtinguts depenen de la variable analitzada, del període de temps considerat i de l'instrument de mesura.

Detectar memòria-dependència en una sèrie temporal i utilitzar models d'ajust *ad-hoc* serveix per millorar les prediccions obtingudes a partir d'aquesta modelització. El mitjà teòric que suporta aquesta predicció és la suposició de que la mateixa relació funcional que s'ha trobat entre les dades del passat es mantindrà en el futur. D'aquí sorgeix la constància pròpia del subsistema d'arrel. No obstant, no es fa cap menció a la capacitat d'adaptació. En la memòria-dependència no hi ha aprenentatge.

market" (1996) de N. Blasco i R. Santamaría, "La mémoire longue en économie: une revue de la litérature" (1999) de S. Lardic i V. Mignon, entre molts altres treballs.

Podem arribar a la mateixa conclusió a partir del subjecte que serveix de suport a aquesta accepció de memòria. La relació de dependència es cerca entre els rendiments d'un actiu financer o, en general, entre les observacions d'una variable. A l'igual que altres éssers inerts, és possible que l'evolució de les cotitzacions mantinguin alguns paràmetres invariables però no poden modificar-los per adaptar-se i aprendre, facultat que està reservada als éssers vius.

La memòria-dependència no és l'únic tipus de memòria que ha estat tractat fins ara en un mercat financer. Una segona conceptualització la trobem dins l'anàlisi tècnica i l'anomenem ***memòria-patró***. En ella pren major protagonisme l'element personal, sent ara el comportament de l'individu el que determina l'evolució de la gràfica (o *chart*) que recull les cotitzacions històriques d'un actiu. Segons la teoria de Dow, base de l'anàlisi tècnica, els mercats financers i els preus dels actius tenen memòria, en el sentit que la història es repeteix i per tant les representacions de la seva evolució en els *charts* formen figures que també es repetiran.

En la memòria-patró també trobem exclusivament el subsistema d'arrel ja que es fonamenta en la constància d'uns patrons. A l'atribuir-se als actius financers, s'exclou la capacitat d'aprenentatge. Una de les diferències existents, però, entre la memòria-dependència i la memòria-patró estreba en allò que es manté invariable. En la primera, es suposa que la relació matemàtica entre observacions roman fixa, mentre que en la segona són els patrons de comportament els que es mantenen.

Com qualsevol ésser humà, els inversors tenen una determinada forma d'actuar, força estable al llarg de la seva vida professional. És precisament aquesta constància en la manera de ser el que provoca que es repeteixin un seguit de patrons. No obstant, l'individu aprèn, oblida i està sotmès a unes condicions d'entorn variables, la qual cosa el pot dur a actuar de diferent manera en el futur a com ho va fer en una situació semblant passada, degut a la capacitat d'adaptació pròpia dels organismes vius. El fet de combinar una certa estructura de decisió constant amb un comportament subjecte a modificacions dóna lloc a que els patrons que es repeteixen no siguin idèntics, sinó similars.

Introduir l'element personal fa augmentar la complexitat de la recerca, però alhora enriqueix l'estudi, apropant-nos des d'una perspectiva social al coneixement del sistema financer. Tot i que els arguments sobre l'existència de memòria-patró es basen en el comportament dels agents econòmics, els instruments desenvolupats per

l'anàlisi tècnica es limiten a l'estudi de sèries de cotitzacions històriques, juntament amb volums de negociació, per tal d'extreure futures evolucions i predir cotitzacions en dates properes.

Llevat de la memòria-dependència i la memòria-patró, no s'ha analitzat cap altre concepte relacionat amb la capacitat per a recordar dins del context financer. La pregunta que cal fer-nos ara és si és suficient per a recollir tots els efectes del passat amb influències sobre el comportament futur d'un mercat. En cas de que no sigui així, haurem d'ampliar la definició de memòria.

La hipòtesi de treball que postulem en aquesta tesi doctoral és la de *l'existència d'altres reminiscències del passat decisives per a explicar fenòmens financers. Les hem englobades sota la denominació de memòria col·lectiva*.

*

Si només hi ha memòria d'arrel i no d'adaptació, els mercats financers no poden aprendre, doncs repetirien constantment pautes de comportament, entre elles els errors. John K. Galbraith (1993) ha denunciat que les crisis borsàries que històricament s'han anat repetint estan relacionades amb la manca de memòria dels agents econòmics que participen en el sistema financer. La repetició dels mateixos errors - la creença d'unes expectatives massa optimistes lligat a una cultura d'especulació i una determinada forma d'actuar – provoquen les mateixes circumstàncies que desencadenen en una crisi rera una altra, com si no hi hagués aprenentatge.

Galbraith no ha estat l'únic en apel·lar al paper que el coneixement de la història i l'aprenentatge que dóna l'experiència haurien de tenir per obtenir avantatges del futur comportament dels mercats financers. Daniel McFadden és un altre exemple d'un nou enfocament que es nodreix d'aquests elements per a comprendre el món econòmic, introduint la memòria com a factor influent en la presa de decisions. No sempre, però, el record del passat tindrà conseqüències en el futur. Hi ha experiències que s'emmagatzemaran en la memòria però que no produeixen efectes posteriors, mentre que altres sí que modifiquen l'evolució del mercat. Anomenem *memòria subjectiva* a les primeres i *memòria objectiva* a les darreres.

Una mostra dels efectes de la memòria objectiva que no queden recollits per la memòria-dependència, per la seva dilució en el temps, ni per la memòria-patró, per la modificació del comportament dels inversors, és l'evolució a curt termini de les cotitzacions dels actius financers en els dies següents a la celebració d'unes eleccions generals. El coneixement que dóna l'experiència sobre les polítiques econòmiques de les diferents alternatives influeix en les primeres reaccions dels participants del mercat un cop coneguts els resultats electorals. En canvi, l'"efecte octubre", produït pels records de les crisis borsàries que han tingut lloc en aquest mes, forma part de la memòria subjectiva. Aquests fenòmens seran objecte d'anàlisi en capítols posteriors.

La capacitat d'aprenentatge i els efectes del passat no recollits per les dues accepcions de memòria anteriors, formen part del que hem anomenat **memòria col·lectiva**. Ella pot explicar, en gran mesura, el comportament antiinflacionista del Bundesbank com a reacció a la hiperinflació històrica alemanya, els darrers esforços normatius en matèria comptable deguts a escàndols com els d'Enron, un diferent comportament dels principals mercats financers durant el segon conflicte bèl·lic entre Estats Units i Iraq per l'experiència de les reaccions borsàries en la guerra del 91, etc.

En aquests exemples es pot apreciar que la memòria col·lectiva requereix una capacitat que engloba tant el subsistema d'arrel com el d'adaptació. D'un costat, recull i emmagatzema un conjunt de coneixements que provenen de les experiències del grup. Per tal de que pugui detectar i mantenir unes regularitats, una constància, una identitat col·lectiva, és necessària la presència del subsistema d'arrel. D'altra banda, utilitza la informació adquirida amb el fi de millorar el resultat de les decisions del col·lectiu, per tal d'aprendre, essent aquesta una funció pròpia del subsistema d'adaptació.

Tal com veurem amb més profunditat en el capítol cinquè, fou Maurice Halbwachs qui estudià la memòria col·lectiva per primer cop dins el context sociològic. Nosaltres partim del mateix marc teòric, però aplicat a les particularitats pròpies d'un mercat financer, i proposem una metodologia adequada per a la seva anàlisi.

L'ordre en el que hem exposat els tres tipus de memòria, i que analitzarem en més detall en els capítols 3, 4 i 5, no ha estat casual; hem seguit un ordre creixent de participació del comportament dels agents econòmics en l'evolució d'un mercat financer. Primer, la memòria-dependència. Es busca una regularitat funcional entre els valors retardats d'una sèrie temporal i s'anomena així únicament perquè

emmagatzema informació del passat i els seus efectes disminueixen progressivament a mesura que avança el temps. Tota la informació rellevant està en els preus. En segon lloc, la memòria-patró. Tot i que només disposa del subsistema d'arrel, les regularitats en forma de patrons gràfics que analitza es fonamenten en les pautes de comportament d'inversors que associen situacions presents amb altres de passades. Malgrat que el component fort continuï sent la permanència, aquesta es basa en una ressonància parcial respecte el passat i en un procés d'associació entre patrons actuals i anteriors per part dels agents econòmics. Finalment, amb la memòria col·lectiva d'un mercat financer recollim tota la complexitat de la memòria de l'ésser humà, amb tots els seus matisos, incloent el subsistema d'arrel i el d'adaptació. És el concepte que aportem per explicar l'existència d'efectes causats pel record del passat i no contemplats en les dues accepcions anteriors, efectes que determinen la variació en el comportament dels mercats, la seva capacitat d'evolució i d'adaptació a un entorn, que avui més que mai, es troba sotmès a vertiginosos canvis.

* *

La memòria-dependència ha estat analitzada amb profunditat i èxit dins el camp de l'Econometria, on s'han aportat models cada cop més sofisticats per a estimar els seus efectes i predir futures observacions. També la memòria-patró ha estat estudiada en l'àmbit dels mercats financers de la mà de l'Anàlisi Tècnica, utilitzant la repetició de patrons com a eina per a la determinació de futures tendències. En canvi, per a la memòria col·lectiva, tot i que d'ella se n'hagi tractat a nivell informal, no s'ha especificat cap model ni s'ha concretat la metodologia més adient per a la seva anàlisi.

En la present tesi doctoral volem omplir aquest buit, essent aquest el principal objectiu metodològic. Donades les seves característiques - la memòria col·lectiva és l'única que conjuga el manteniment d'una informació amb la capacitat per a modificar el comportament del col·lectiu i adaptar-se a un nou entorn - l'instrument que cal emprar per a analitzar-la ha de ser suficientment robust i estable com per emmagatzemar grans quantitats de dades, però a la vegada, prou flexible per tal de permetre l'aprenentatge, la modificació de la seva estructura. Les xarxes neurals artificials (XNA) compleixen amb aquest doble requisit.

La natura és sempre font d'inspiració i l'ésser humà ha intentat imitar-la creant artificialment instruments que l'ajudessin a assolir o millorar allò del que la pròpia naturalesa humana l'havia privat. El vol dels ocells serví de model per desenvolupar la

indústria aèria, els enginyers dissenyaren l'helicòpter després d'estudiar l'anatomia i moviment de la libèl·lula, i fins i tot, actualment s'està emprant el coneixement sobre la forma de comunicació de les formigues per obtenir algorismes computacionals d'optimització. L'intent de reproduir el funcionament del cervell era, tard o d'hora, ineludible.

Ha estat una branca de les ciències de la computació la que ha assumit la tasca de modelitzar les capacitats cognitives de l'ésser humà. La Intel·ligència Artificial (IA) pretén elaborar programes informàtics "intel·ligents", en el sentit de que a partir d'unes dades d'entrada al sistema, s'apliquin procediments de raonament i s'obtinguin respostes semblants als d'una persona.

La finalitat d'aquests programes és doble. Per un costat, els instruments propis de la IA són un model d'un procés cognitiu concret, normalment massa complex per a conèixer en totalitat el seu funcionament. Des d'aquesta perspectiva, el model pot ser útil per a comprendre l'original, per a extreure regles operatives. D'altra banda, l'ésser humà és superior en creativitat, intuïció, capacitat d'innovació, als programes informàtics que ell mateix dissenya. Però aquests darrers poden aportar altres aptituds com són una major capacitat d'emmagatzematge per a la informació, una major velocitat en el càlcul matemàtic, proposar respostes no sotmeses a components emocionals, entre altres. Les tres darreres característiques són d'especial importància en el camp financer, on el volum de dades que es genera és molt gran, on el temps en el que es pren una decisió pot ser determinant per al resultat de la mateixa, i on és comú que, finalment, algunes decisions estiguin basades no tant en factors de valoració financera com en característiques del propi inversor.

De les capacitats pròpies de l'ésser humà que han estat d'interès per a la IA es troba la memòria biològica, essent representada, d'entre els instruments[6] que pertanyen a aquesta branca, per les xarxes neurals artificials. S'han utilitzat els coneixements sobre el funcionament de la memòria per a resoldre problemes de decisió, optimització o predicció on les dades que s'empren són incompletes, presenten soroll, no es coneix amb exactitud la relació entre els seus components, ... Aquest context s'adiu perfectament al que es dóna en la pràctica financera.

[6] Malgrat en la tesi no hem desenvolupat aquesta línia, és possible i recomanable la combinació de les xarxes neurals artificials amb sistemes experts, algorismes genètics o elements de la lògica borrosa.

La flexibilitat a l'hora de dissenyar una XNA permet aplicar-les a una àmplia gamma de problemes. Així, a més de configurar la nostra proposta metodològica per a l'anàlisi de la memòria col·lectiva, també podem utilitzar-les en tasques de predicció en base a l'ajust de sèries temporals i en el reconeixement de patrons gràfics. Dues funcions que permeten, d'un costat, complementar i reforçar les eines pròpies de la memòria-dependència i de la memòria-patró. D'altra banda, aconseguim homogeneïtzar la metodologia d'anàlisi dels diferents efectes del passat, facilitant la comparació entre ells.

Aquesta important tasca d'homogeneïtzació s'emmarca dins els objectius que ens plantegem i que explicitem a continuació.

* *
*

L'objectiu general de la tesi l'hem plasmat en les preguntes formulades a l'inici d'aquesta introducció. Ens proposem analitzar l'existència de memòria als mercats financers i cobrir, si és necessari, amb un nou concepte de memòria els efectes del passat que no estiguin recollits per altres accepcions. Desgranant el procediment a seguir per a obtenir una resposta, cal distingir entre objectius de *conceptualització*, *metodològics* i *empírics,* els quals detallem tot seguit.

- **Objectius de conceptualització.**

Per tal d'evitar confusions terminològiques provocades per l'associació d'una única expressió a diferents conceptes, el primer que ens proposem és delimitar el significat de cadascuna de les accepcions de la paraula 'memòria' en el seu ús dins el context de les finances.

En segon lloc, cal esbrinar si amb la tipologia existent n'hi ha prou per recollir tots els efectes del passat amb influència sobre el comportament dels mercats. En cas de que no sigui suficient amb aquest ventall, el següent objectiu serà definir un nou concepte de memòria.

Finalment, caldrà comparar les diferents accepcions i analitzar les influències que es donin entre elles.

- **Objectius metodològics.**

Amb la introducció de la memòria col·lectiva en l'anàlisi financera sorgeix paral·lelament la necessitat d'una metodologia adequada per al seu tractament. La cerca i la justificació de la mateixa, avançant ja que la nostra proposta la configuren les xarxes neurals artificials, és una de les tasques que durem a terme.

L'Econometria i l'Anàlisi Tècnica són les encarregades de desenvolupar els instruments amb els quals modelitzar la memòria-dependència i la memòria-patró, respectivament. Al requisit de conèixer les nocions bàsiques referents a la memòria en aquestes disciplines, hi afegim l'objectiu d'examinar l'aplicació de les XNA com a metodologia complementària en ambdós casos. Això ens permetrà una aproximació al conjunt de tots els efectes del passat de forma homogènia, facilitant així la seva comparació. A més, l'ús de l'aproximació connexionista aporta matisos qualitatius, com ara la flexibilitat en la modelització o l'obtenció de nous patrons per part de la xarxa, que recolzen els resultats obtinguts amb els mètodes clàssics.

En resum, si els objectius que hem englobat sota l'etiqueta de conceptualització estan encaminats a posar de relleu l'existència d'efectes provocats per l'experiència i no recollits pels models financers tradicionals, des d'una perspectiva metodològica pretenem oferir les eines necessàries per dur a terme aquesta modelització.

- **Objectius empírics.**

Després de l'anàlisi teòrica realitzada, i a mode d'exemple, aplicarem XNA a cadascuna de les accepcions de memòria detectades en un mercat financer.

Hi ha models de XNA que poden ajustar una sèrie temporal sense realitzar previs supòsits sobre la seva forma funcional, incloent el cas de dependències no lineals. És per aquest motiu que les proposem per a l'anàlisi de la memòria-dependència. Nosaltres aplicarem una xarxa *back-propagation* per a valorar l'ajust d'un conjunt de dades, explicitant la importància relativa de cadascuna de les observacions passades en la formació dels valors futurs de les rendibilitats històriques de l'índex *Dow Jones Industrial Average*. La finalitat última de l'exemple és la cerca de relacions entre la memòria-dependència i elements de la memòria col·lectiva.

En la memòria-patró, l'aplicació d'una XNA presenta un avantatge comparatiu respecte de l'einam de l'Anàlisi Tècnica. La quantitat d'informació a analitzar – preus i volums de negociació – és difícilment abastable per a un inversor, essent d'ajuda disposar d'un instrument que processi les dades com ara les XNA que, especialitzades algunes d'elles en el reconeixement de patrons, permeten el tractament de nombroses variables per discernir el clima que està envoltant el mercat i que influirà en la seva posterior evolució. El problema pràctic que plantegem en aquest segon cas és la detecció de *climes* (característiques que descriuen l'estat del mercat) a partir dels patrons trobats per una XNA amb la finalitat de predir futures tendències en la cotització d'un actiu financer.

Finalment, aplicarem els mapes autoorganitzatius de Kohonen en dos exemples relacionats amb la memòria col·lectiva. En l'"efecte octubre" analitzarem si el record de crisis borsàries anteriors esdevingudes durant el mes d'octubre produeix algun efecte en el mercat borsari espanyol, francès i nord-americà, o bé si contràriament a la percepció dels participants del mercat, del record d'aquests successos no se'n deriva cap conseqüència contrastable. El segon lloc, tractarem sobre l'evolució d'algunes de les accions del mercat continu espanyol després de la celebració d'unes eleccions generals. Amb els resultats que s'obtinguin amb la xarxa de Kohonen, intentarem respondre a la pregunta de si existeix un fenomen que podem anomenar "efecte eleccions generals", que recull l'aprenentatge dels inversors degut a l'experiència de comicis anteriors i que repercuteix en l'evolució dels actius financers a curt termini.

El suport informàtic, com a instrument de modelització i simulació, és important en l'aplicació de les XNA. Hi ha disponible una àmplia oferta de programes estàndard per a la seva implementació, operant amb els valors inicials dels pesos de les connexions i els algorismes matemàtics que regeixen la dinàmica de canvis dels pesos. A partir d'ells i juntament amb l'elecció de l'estructura desitjada, és possible obtenir tota la tipologia de xarxes existents. Nosaltres hem utilitzat la programació de la *Toolbox* de *Neural Nets* de Matlab per a implementar les xarxes *back-propagation*, entrenades amb dades de les rendibilitats mensuals del *Dow Jones Industrial Average*, calculades a partir de les cotitzacions al tancament en el darrer dia del mes. Pel que fa a la memòria-patró, hem utilitzat el programa de lliure distribució *The Art Gallery* per a implementar les xarxes ART on hem introduït les mateixes dades que en el cas anterior. Per a les darreres xarxes utilitzades en la tesi, tot i que en la mateixa *Toolbox* de Matlab hi ha la possibilitat d'entrenar mapes de Kohonen, nosaltres hem optat per la programació que ofereix, també per a Matlab, el grup d'investigació de Teuvo

Kohonen de la *Helsinki University of Technology*, i ha estat aquesta la que hem fet servir en l'aplicació de la memòria col·lectiva.

A continuació descrivim breument com estructurem la tesi per tal de donar resposta als nostres objectius.

* *
*

La tesi es subdivideix en tres blocs. El primer facilita els coneixements teòrics previs, tan relacionats amb el concepte general de memòria (capítol 1) com amb la metodologia de les xarxes neurals artificials (capítol 2). El segon, que comprèn els capítols 3, 4 i 5, està dedicat a les tres diferents accepcions de memòria distingides als mercats financers. El tercer bloc comprèn les conclusions i futures línies d'investigació, així com la bibliografia. Tot seguit en fem una descripció detallada.

Tal com hem comentat, la memòria de l'ésser humà marca la pauta de la que podem trobar als mercats financers. Com a primera aproximació, i afegint la capacitat d'aprenentatge, en el capítol 1 – *Memòria: Definicions i Tipologia* – tractarem sobre la perspectiva històrica, la definició, la tipologia i altres conceptes relacionats amb la memòria biològica. Més concretament, farem un repàs sobre les primeres teories relacionades amb la capacitat humana per recordar i evocar sensacions, fins a arribar al coneixement biològic actual, en el que es poden distingir tres nivells: el de microorganisme, el de macroorganisme i el social. Centrant-nos en la memòria de l'individu, caldrà proposar-ne una definició i estudiar la seva tipologia. Començant per la classificació més coneguda, distingirem entre memòria a llarg i a curt termini, entre memòria semàntica i episòdica, implícita i explícita, positiva i negativa, memòria activa i ressonància. Relacionarem també cada tipus amb fenòmens equivalents que tenen lloc en un mercat financer, discernint en quina categoria s'engloba la memòria-dependència, la memòria-patró i la memòria col·lectiva. Per últim, tractarem sobre l'aprenentatge, procés viable només en el subsistema d'adaptació present en la memòria col·lectiva. És també un element clau en l'arquitectura de les xarxes neurals artificials, essent indeslligable el tipus d'aprenentatge de la xarxa del problema al que volem trobar solució.

En el capítol 2 – *L'Aproximació Connexionista: un Entorn per a l'Anàlisi de la Memòria als Mercats Financers* – presentarem les xarxes neurals artificials. Després de

descriure breument els seus antecedents, concepte i estructura, ens centrarem en les tres emprades en la tesi. Detallarem el funcionament del perceptró multicapa amb algorisme d'aprenentatge *back-propagation* com a instrument adequat per a recollir la memòria-dependència, de les xarxes ART mitjançant les quals és possible el reconeixement de patrons propi de la memòria-patró i dels mapes autoorganitzatius de Kohonen, com a proposta per a l'anàlisi de la memòria col·lectiva d'un mercat financer. Les primeres permeten l'ajust de qualsevol sèrie temporal, i en concret, la modelització de sèries de preus o rendibilitats històriques, podent extraure el valor dels pesos de les observacions passades com a indicadors de l'estructura de la memòria-dependència. Les segones, les xarxes ART, es basen en la teoria de la ressonància adaptativa per a detectar patrons, fins i tot quan aquests presenten distorsions o quan en un sistema obert, com ara un mercat financer, sorgeixen patrons nous. Finalment, els mapes de Kohonen agrupen en un mapa bidimensional qualsevol conjunt de dades de dimensió *n*. Degudament formalitzats, l'evolució dels patrons a través d'aquests grups permet fer un seguiment de les pautes de comportament dels agents econòmics en funció del seu grau d'aprenentatge i d'oblit.

El capítol 3 – *La Memòria-Dependència* – s'inicia amb la descripció del concepte, origen i metodologia tradicional per a la seva detecció. La memòria-dependència sorgeix com a crítica a la Hipòtesi dels Mercats Eficients i a la independència entre observacions pròpia del passeig aleatori, estant definida mitjançant un ampli ventall de formalitzacions matemàtiques. Tot seguit s'analitzen els models més importants emprats per a l'anàlisi de sèries temporals de variables financeres amb presència d'aquesta memòria. La modelització economètrica es complementa, des de fa uns anys, amb l'ús de XNA. Nosaltres apliquem les *back-propagation* cercant un mecanisme de comparació entre els efectes de la memòria-dependència i de la memòria col·lectiva a través de les respectives matrius de pesos. En concret, modelitzem la sèrie temporal de rendibilitats històriques del *Dow Jones Industrial Average* des de 1946 fins a 2003, i analitzem l'existència d'"efecte octubre" sobre els valors de l'index.

Repetint el mateix esquema, el capítol 4 – *La Memòria-Patró* – recull el concepte, orígens i elements que facilita l'Anàlisi Tècnica per a l'estudi de la memòria-patró, tot reservant un apartat per a tractar sobre les relacions de semblança i diferències entre ella i l'analitzada en el capítol anterior. Després d'especificar les bases de la teoria de Dow, d'on sorgeix el concepte de memòria-patró, es descriuen les principals eines desenvolupades a partir d'ella: indicadors, reconeixement de patrons, ones d'Elliott,

etc. Posteriorment, comentem les avantatges de les xarxes neurals artificials, i en especial pel que fa a aquest cas la de les ART, per poder emprar-les com a instrument d'anàlisi en un mercat financer. Concloem amb la seva aplicació per al reconeixement de patrons sobre les mateixes dades utilitzades en la memòria-dependència, comparant els resultats obtinguts quan les variables emprades en el sistema incorporen o no elements de l'Anàlisi Tècnica.

En el capítol 5 – *La Memòria Col·lectiva* – es defineix la memòria que li dóna el nom amb la finalitat d'agrupar tots els efectes que el record del passat produeix en els mercats financers i que no es corresponen amb els de les accepcions anteriors. Començant per una breu referència al seu estudi en l'àmbit en el que sorgeix l'expressió, el sociològic, es continua per la seva influència en el context de les finances, remarcant especialment la relació que s'estableix entre la memòria i el temps. Finalment, justifiquem l'elecció dels mapes autoorganitzatius de Kohonen com a instrument d'anàlisi, i exemplifiquem el seu ús en dos casos ben diferenciats: en l'estudi de l'"efecte octubre" en el mercat borsari espanyol, francès i americà, mitjançant l'evolució dels índexs representatius de cadascun; i en l'anàlisi de les conseqüències de l'"efecte eleccions generals" sobre el comportament de diversos actius financers després de les darreres 4 eleccions al Govern Espanyol, mostrant les possibilitats d'aquesta metodologia per a recollir situacions en les que hi ha aprenentatge.

A continuació dels cinc capítols, presentem les *conclusions* obtingudes en l'elaboració de la tesi doctoral i apuntem les *línies d'investigació futures*. La diferent naturalesa dels objectius que ens hem plantejat explica que en les conclusions també distingim entre aquelles de caràcter conceptual, donant resposta a les necessitats de definició i classificació de la noció de memòria en els mercats financers; de caràcter metodològic, aportant la metodologia adient per al tractament de la memòria col·lectiva i posterior homogeneïtzació per a la resta d'accepcions; i de caràcter empíric, conseqüència dels resultats de l'aplicació de les xarxes neurals artificials a l'anàlisi de diferents esdeveniments financers amb vincles amb els efectes del passat.

En darrer lloc adjuntem el recull de referències bibliogràfiques que hem usat. D'aquestes cal destacar que de la basta literatura en el camp d'investigació específica de cada capítol hem seleccionat la més idònia per a dur a terme els nostres objectius, essent necessari recórrer també a altres disciplines com la biologia, neurociència, filosofia o sociologia, de les que hem extret valuosa informació. Del context financer,

hem recorregut a aquelles monografies, articles (tant de revistes especialitzades com de premsa general), tesis doctorals, i altres, que han tractat dels efectes del passat en els mercats financers. La disponibilitat i quantitat de referències ha variat en funció de l'accepció de memòria. Hi ha gran abundància de bibliografia relacionada amb la memòria-dependència, però nosaltres ens hem cenyit a les principals aportacions pel que fa a la seva existència i anàlisi, no considerant l'especificitat i posterior desenvolupament de models d'ajust més complexos. De la memòria-patró només n'hem trobat referències en manuals generals de l'Anàlisi Tècnica, doncs un cop postulada la seva existència per hipòtesi, la resta de treballs publicats es limita a l'estudi d'indicadors i pràctiques de detecció de patrons. Finalment, volem posar de relleu l'escassa producció científica sobre els efectes de la memòria col·lectiva en els mercats financers, havent de recórrer a l'àmbit de la sociologia, on les referències sobre aquest tema són més comunes. No obstant, s'observa un creixent interès per factors no quantitatius que han estat oblidats en l'anàlisi financera i que gradualment es van introduint en la recerca, a mesura que els avenços metodològics també ens ho permeten.