

Modelatge basat en funcions per la aproximació als fenòmens naturals

Màster en Tecnologies de la Informació

2014-2015



Dra. Maria Teresa Signes Pont
Departament de Tecnologia Informàtica i Computació
Universitat d'Alacant
teresa@dtic.ua.es

Introducció: Els fenòmens naturals des de la teoria de la complexitat

Aproximació a la computació natural: estat de l'art

1. Computació amb màquines inspirada per la natura

- Autòmats cel·lulars
- Computació neuronal
- Computació evolutiva
- Intel·ligència d'eixam
- Sistemes immunològics artificials
- Computació de membrana
- Computació amorfa

2. Síntesi de fenòmens naturals en el computador

- Fractals
- Vida artificial

3. Computació realitzada amb nous materials naturals

- Computació molecular (amb ADN, ..)
- Computació quàntica

Com aproximar els fenòmens naturals mitjançant funcions

1. Proposta de mètodes de modelatge basats en funcions recursives

Aplicacions

- ✓ Brots inductors d'espigues en la regió CA3 de l'hipocamp
- ✓ Generadors centrals de patrons neuronals (CPGs)
- ✓ Resiliència (modelatge d'arquetips, model predador/presa,)

2. Proposta de modelatge basat en funcions de proximitat

Aplicacions

- ✓ Estigmèrgia dels sistemes socials
- ✓ Generació de comportament emergent (*Modelatge del rol del creixement en el patronatge embrionari*)

Conclusió

- Bibliografia rellevant

Introducció

Els fenòmens naturals des de la teoria de la complexitat

- * Edgar Morin (París, 1921): un dels pensadors més significatius de finals del segle XX, per la reflexió al voltant de la idea de «COMPLEXITAT».
- * Gaston Bachelard : "*no hi ha res simple, només hi ha el que ha estat simplificat*".

Ni els humans ni el món no són comprensibles dins un sistema determinista. La biologia, l'ecologia i la societat responen, finalment, a un mateix esquema: **la complexitat**, en què les parts interaccionen constantment entre si per a constituir un tot organitzat.

La filosofia de Morin és un «**realisme complex**»

- està fonamentada en la idea que no hi ha una relació necessària ni immediata entre allò que els homes es proposen i el resultat, sovint insospitat, dels seus actes.

Morin veu el món des d'un "**principi d'incertesa**" segons el qual, les últimes conseqüències d'un acte donat no són previsible

Aquesta filosofia està en contraposició amb el «**realisme simple**»

- està fonamentat en la idea que la realitat obeeix a un "encadenament mecànic" (les idees menen a algun ordre final, tipus "fi de la història"). Es veu el món com una màquina.

Els fenòmens naturals des de la teoria de la complexitat

Hi ha tres principis que poden ajudar-nos a pensar la complexitat:

1.- Principi dialògic: L'ordre i el desordre són enemics: l'un suprimeix l'altre però, alhora, en determinats casos, col·laboren i produeixen l'organització.

2.- Principi de recursivitat organitzativa: Tot retroactua; els individus produeixen la societat i alhora són produïts per aquesta: no hi ha estructura lineal causa/efecte. Tot es produeix en un cicle, en un bucle, autoconstitutiu, autoorganitzador i autoproduïdor.

3.- Principi hologramàtic: La part no pot ser concebuda sense el tot, ni el tot sense la part. En el nivell biològic, cada cèl·lula conté la totalitat de la informació genètica d'un organisme. El tot i la part formen part del mateix moviment.

"Complexitat": un intent de transcendir *el reduccionisme* (que només veu parts) i *l'holisme* (que només veu la totalitat).

Els fenòmens naturals des de la teoria de la complexitat

Marc per a l'aparició de la complexitat

- El sistema ha de ser **no lineal** (no pot entendre's com una suma de parts més simples. El «tot» és més que la suma de les parts més simples)
- El sistema s'ha de trobar **fora de l'equilibri termodinàmic**; és un sistema obert que interactua amb l'exterior.
- Les propietats d'autoorganització poden entendre's a partir de **regles d'interacció simples i locals**. Es tracta de determinar quines són, donat un sistema.

Exemple: model amb tres regles simples:

- ✓ *Separació*: un individu tractarà d'allunyar-se d'un altre quan la distància entre ells és molt xicoteta, per a evitar una col·lisió
- ✓ *Alineació*: un individu girarà per tal d'alinejar-se cap a la direcció mitjana dels individus en el seu entorn
- ✓ *Cohesió*: un individu es mourà cap a la posició mitjana dels individus en el seu entorn

Els fenòmens naturals des de la teoria de la complexitat

Relació entre la dinàmica no lineal, el caos i els sistemes complexos

Fins fa poc el paradigma en la ciència consistia a considerar

- Sistemes simples: amb poques variables que es comporten de manera simple i ordenada
- Sistemes complexos: amb nombroses variables que es comporten de forma complexa, desordenada i atzarosa

Recentment:

- Sistemes simples però no lineals poden comportar-se també de forma caòtica.
- Sistemes complexos poden adquirir una dinàmica simple, a través del fenomen no lineal de sincronització i autoorganització.

Els fenòmens naturals des de la teoria de la complexitat

computació natural, què és?

- engloba un conjunt de models que simulen la manera en què la natura actua/opera sobre la matèria.
- estudia com les lleis de la natura produeixen modificacions en determinats sistemes (hàbitats, conjunts de molècules, organismes vius...)
- els interpreta com a processos de càlcul sobre els seus elements

Per què anomenar-ho ***computació?***

Perquè es pot simular amb una màquina de Turing l'evolució de la natura:

**estructura de dades*

**operacions o instruccions*

Els fenòmens naturals des de la teoria de la complexitat

computació natural, què és?

A l'hora de descriure nous models, existeixen **tres** interpretacions:

- Interpretació 1:

Utilitzar nous algorismes usant tècniques inspirades en la natura per tal de millorar-los

- Interpretació 2

Simular fenòmens naturals en un computador

- Interpretació 3

Substituir l'electrònica per substrats naturals que puguin implementar els processos que apareixen en l'operatòria de la natura.

Els fenòmens naturals des de la teoria de la complexitat

computació natural, què és?

1- Computació realitzada en ordinadors inspirada en la biologia

- finalitat: obtindre nous tipus d'algorismes per tal de millorar el rendiment de les màquines convencionals sense canviar-ne l'arquitectura.
- mètode: els algorismes tracten de copiar la manera de fer dels teixits vius.

2- Simulació de fenòmens naturals en un computador

- finalitat: conèixer més d'un fenomen natural
- mètode: modelant-lo i simulant-lo en un computador

3- Computació realitzada en substrats nous

- finalitat: trobar operacions *submicroscòpiques* com a alternativa a la miniaturització dels components físics dels ordenadors convencionals (basats en circuits de silici)
- mètode: proposar la computació a *nivell molecular* com a possible model per a implementar aquestes operacions. Els complexos moleculars són considerats com a components virtuals d'un dispositiu de processament d'informació.

Computació amb màquines inspirada per la natura

1- Aproximació a la computació natural: estat de l'art

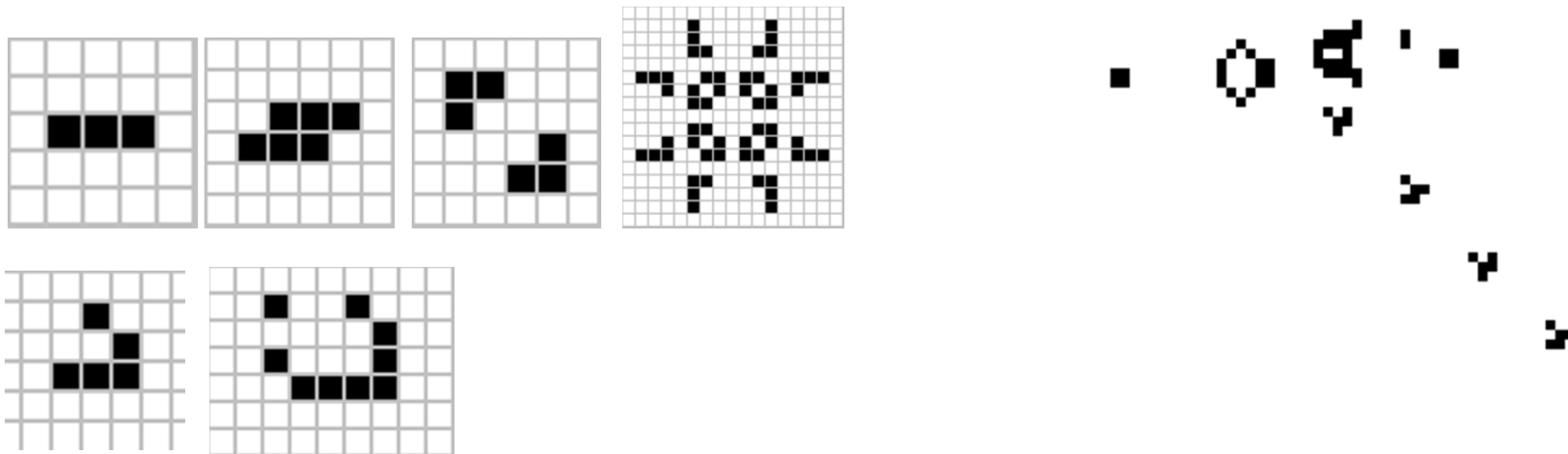
1

Autòmats cel·lulars

Autòmat cel·lular:

1940. Los Alamos. Stanislas Ulam i John von Neumann

- graella n-dimensional de cel·les que poden estar en ON o en OFF.
- a cada cel·la se li defineix un veïnat i se li assigna un estat inicial a $t=0$
- una nova generació es crea a $t=t+1$, seguint una regla fixa (funció matemàtica de veïnat)
- habitualment la regla d'actualització és la mateixa per a totes les cel·les i s'aplica a totes simultàniament (exceptuant l'autòmat cel·lular estocàstic o asíncron).



1

Autòmates cel·lulars

Autòmat cel·lular:

1980. Stephen Wolfram: enceta un estudi sistemàtic dels autòmats unidimensionals (autòmats elementals)

En 2002, publica *A New kind of Science* (aplicacions en criptografia, per exemple)

Estableix una primera classificació de patrons

- 1- evolucionen a estructures homogènies
- 2- evolucionen a estructures estables u oscil·lants
- 3- evolucionen de forma caòtica
- 4- evolucionen cap a estructures molt complexes que poden durar molt en forma d'estructures localment estables (poden simular una màquina de Turing)

Els autòmats cel·lulars poden simular una gran varietat de sistemes del món real (sistemes biològics i químics).

1

Computació neuronal

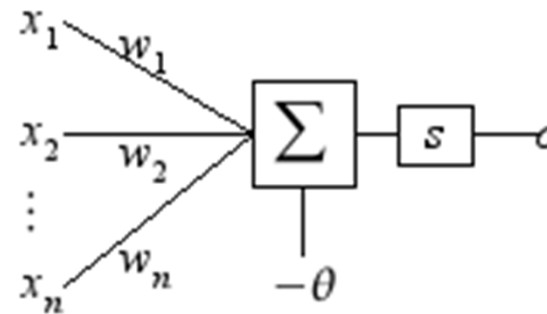
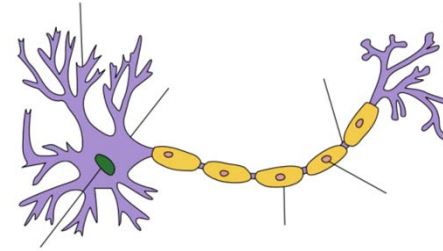
1943: Model de McCulloch i Pitts

- Processos biològics
- Intel·ligència artificial

A finals dels anys 40: Donald Hebb modela un aprenentatge basat en la plasticitat neuronal (no supervisat)

1954 : Wesley A. Clark simula en un computador una xarxa hebbiana

1956: Rochester, Holland, Habit i Duda en creen altres



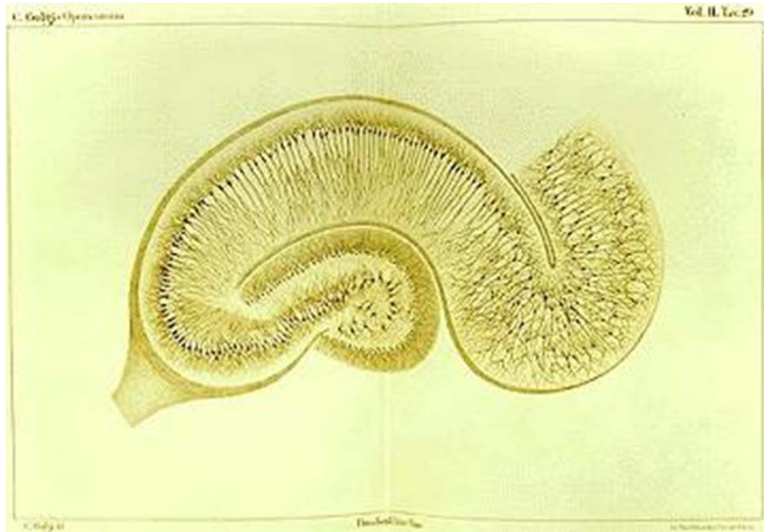
1

Xarxa neuronal

- inspirada en el concepte del sistema nerviós central
- es compon de “neurones” connectades les unes amb les altres formant una xarxa que imita una xarxa neuronal biològica.

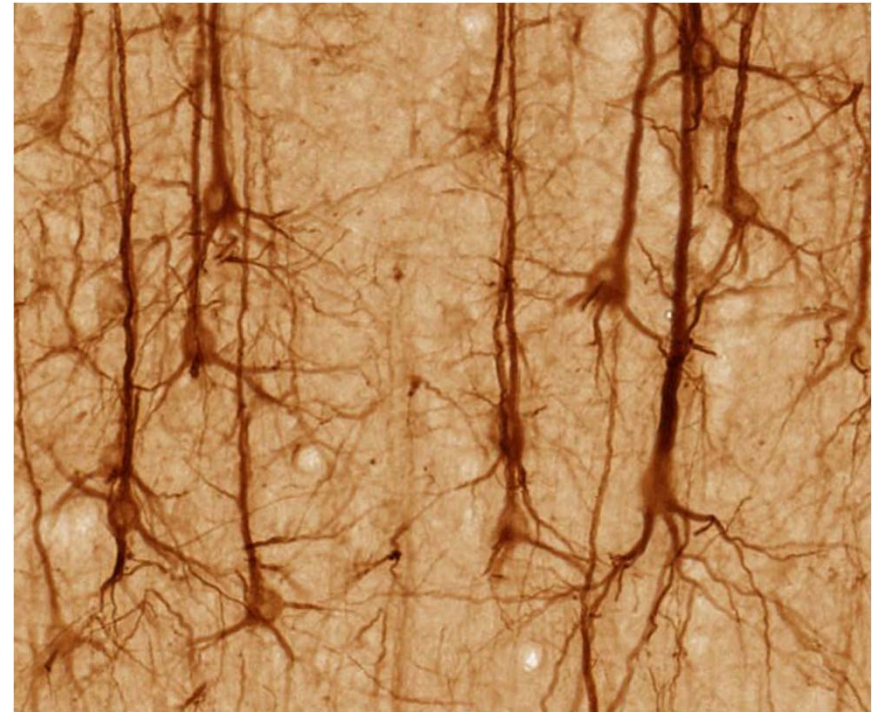
Característiques

- Tindre ponderació adaptativa (pesos de les connexions que s'actualitzen mitjançant un algorisme d'aprenentatge)
- Tindre capacitat d'aproximació de funcions no lineals de les entrades



Hipocamp

Computació neuronal



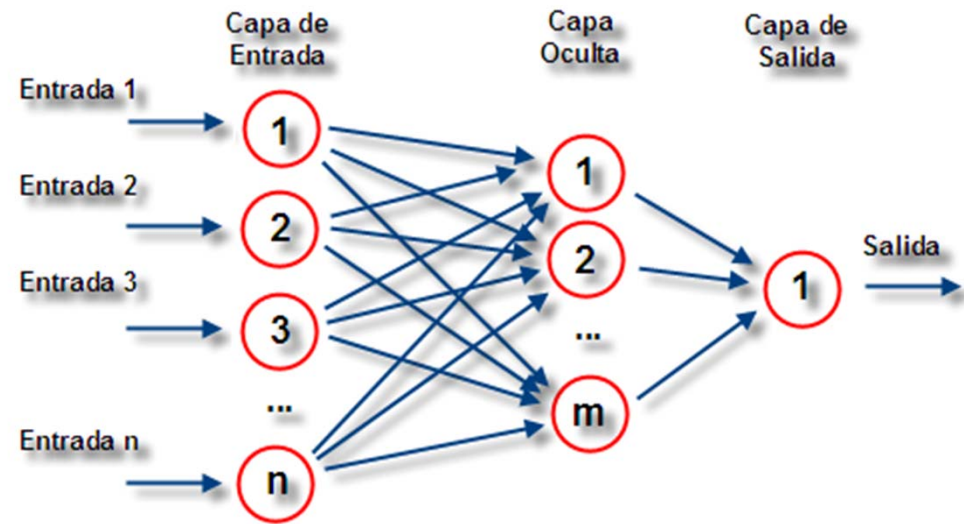
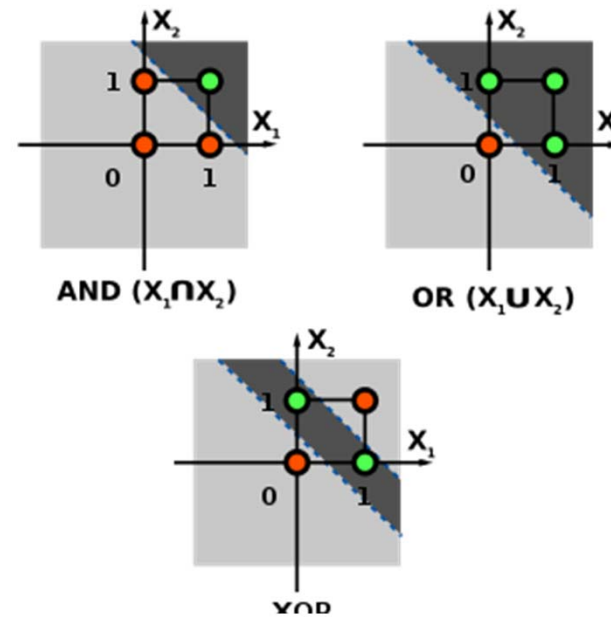
Neurones piramidals en el còrtex cerebral

1

1958: Frank Rosenblatt crea el **perceptró multicapa** que és un algorisme per al reconeixement de patrons

1975: Paul Werbos crea l'algorisme de **backpropagation** que soluciona el problema de la incapacitat de processar la funció XOR

Computació neuronal



1

Computació evolutiva

- És una branca de la *Intel·ligència Artificial* que s'aplica per a resoldre problemes d'*optimització combinatoria a la manera del que passa en la natura*
- Objectiu: la supervivència. Cal aplegar a la millor solució d'un problema
- Està inspirada en els mecanismes de l'evolució biològica proposats per
Darwin: "Selecció natural dels més adaptats"
Mendel: "Teoria corpuscular de l'herència"
Lamarck: "Herència de caràcters adquirits".
- * Una **població** d'individus coexisteix en un determinat **entorn** amb recursos limitats.
- * La **competició** pels recursos provoca la **selecció** d'aquells individus que estan **millor adaptats** a l'entorn.
- * Aquests individus es converteixen en progenitors de nous individus a través de processos de **mutació** i **recombinació**.
- * Els nous individus passen a competir per la seua supervivència.
- * Amb el pas del temps aquesta **selecció natural** provoca l'increment en la qualitat dels individus de la població.

Estratègies per a la resolució de problemes d'optimització.

- **Processos de Cerca Evolutiva**: proposada per Alan Turing l'any 1948.
- **Estratègies Evolutives (EE)**: proposada per Rechenberg en 1964. Representa els individus com a vectors reals.
- **Programació Evolutiva (PE)**: proposada per Fogel en 1965. Utilitza màquines d'estat finit.
- **Algorismes Genètics (AG)**: Proposada per Holland en 1975. Representen els individus com a cadenes binàries.
- **Programació Genètica (PG)**: Proposada per Koza en 1992. Utilitza Arbres LISP.

La diferència entre aquestes estratègies és la diferència en la manera de representar els individus (solucions candidates)

Etapes del procès:

1. Iniciar població aleatòriament
2. Seleccionar progenitors
3. Reproducció: creuament i mutació
4. Descendència
5. TEST (si l'individu no és satisfactori, retornar a l'etapa 2, si ho és, acabar)

1

Intel·ligència d'eixam

- Es una branca de la *Intel·ligència Artificial* que es basa en el *comportament col·lectiu de sistemes descentralitzats i autoorganitzats*.
- els sistemes estan constituïts per **agents simples** que interactuen entre si i amb l'entorn.
- Els agents segueixen **regles simples locals** i no tenen **cap estructura de control**.
- les interaccions locals entre els agents condueixen a ***l'emergència d'un comportament global complex***.
- Exemples en la natura: colònies de formigues, alineament d'aus en vol, comportament de ramats, creixement bacterià i comportament de bancs de peixos.

robòtica d'eixam: aplicació dels principis d'eixam a robots.

intel·ligència d'eixam: conjunt general dels algorismes.

1



Intel·ligència d'eixam

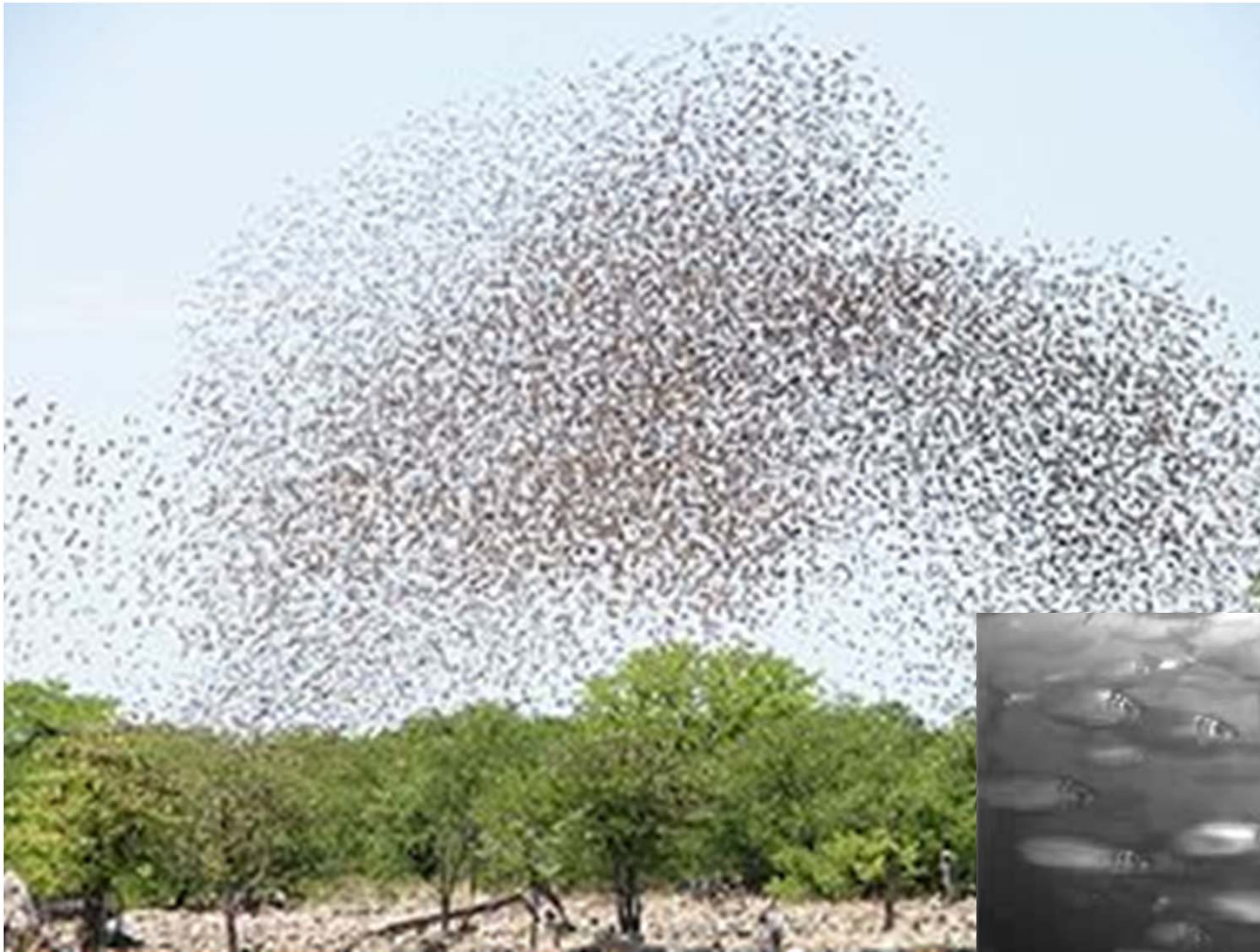


**Colònies
d'insectes**



1

Intel·ligència d'eixam



Aliniament d'aus en vol

Comportament de bancs de peixos



1

Intel·ligència d'eixam



1

Intel·ligència d'eixam *(robòtica d'eixam)*



**Microrobots
re carregant-se entre si**

**Robots col·laborant per a
passar un obstacle**



1

Sistemes immunològics artificials

Característiques

- ✓ Actuen com a classificadors: detecten els elements «propis» i els que «no ho són»
- ✓ Tenen memòria i una estructura distribuïda
- ✓ Són tolerants a fallades
- ✓ Tenen gran capacitat de processament d'informació
- ✓ S'adapten

Aplicacions

Detecció i diagnòstic de fallades

Reconeixement de patrons i imatges

Verificació de firmes

Seguretat computacional: detecció d'accessos no autoritzats a sistemes informàtics, ...

1

Sistemes immunològics artificials

En els anys 80 es publiquen els primers articles que tracten de *xarxes immunes*

- * Farmer, Packard i Perelson
- * Bersini and Varela

1990: esdevé un camp consolidat

- * Forrest *et al.* parlen de la *selecció negativa*
- * Kephart *et al.*
- * Dasgupta proposa algorismes per a implementar la selecció negativa
- * Hunt i Cooke treballen sobre xarxes immunes
- * Timmis i Neal continuen i milloren aquests treballs

2002:

- * De Castro & Von Zuben's i Nicosia & Cutello's treballen sobre la *selecció clonar*

2008:

- * Dasgupta i Nino publiquen un llibre de text sobre “Computació immunològica” (estat de l’art de la qüestió + aplicacions)

1

Sistemes immunològics artificials

Algorismes

- *Teoria de la xarxa immune*
- *Mecanisme de la selecció negativa*
- *Principi de la selecció clonar*

Aplicacions

Algorismes d'optimització

1

Sistemes immunològics artificials

Algorismes

- *Teoria de la xarxa immune*

- * Desenvolupada des del 1974 per N. i G. W. Hoffmann

- * La teoria involucra

- cèl·lules:

- B (produeixen anticossos)

- T (regulen la producció d'anticossos)

- A (cèl·lules accessòries no específiques)

- interaccions simètriques

- estimuladores

- inhibidores

- eliminadores

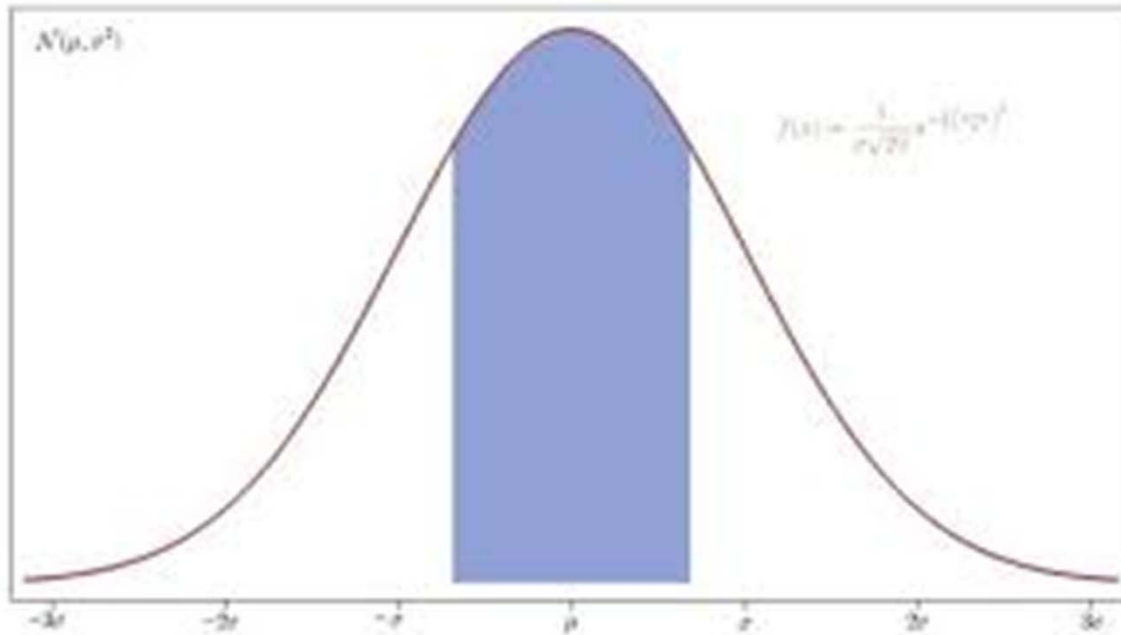
1

Sistemes immunològics artificials

Algorismes

- *Mecanisme de la selecció negativa*

Els individus que més sobreviuen respecte d'un caràcter són els que tenen el grau situat enmig del rang.



1

Sistemes immunològics artificials

Algorismes

- *Principi de la selecció clonar*

1) una cèl·lula es diferencia i produeix...

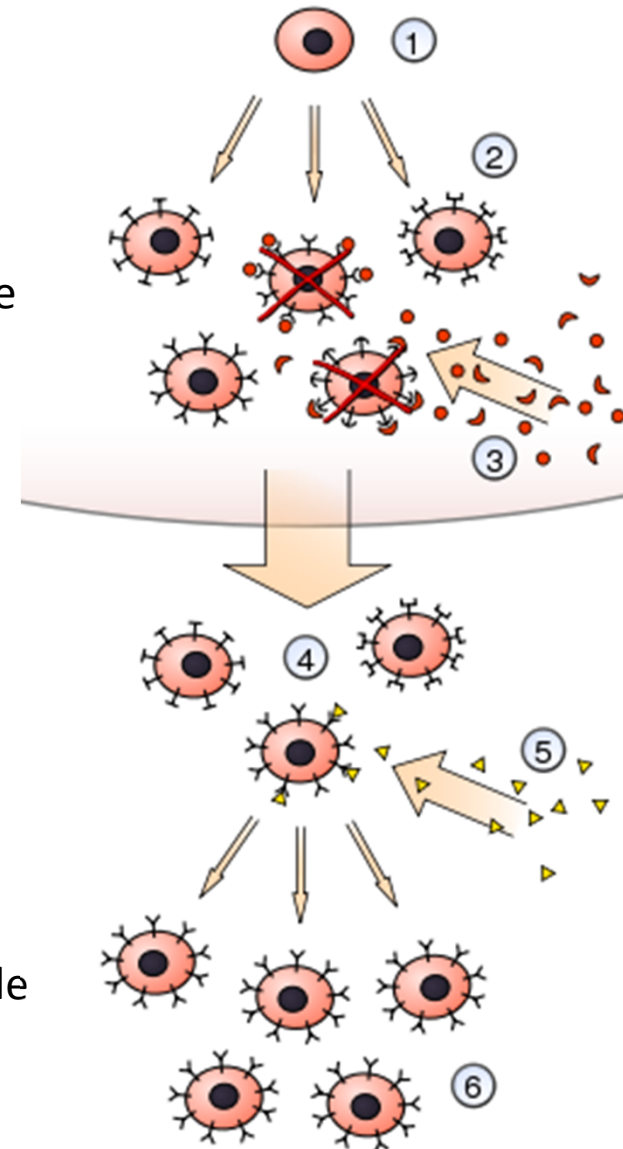
2) limfòcits immadurs. Cada limfòcit posseeix una sola classe de receptor amb especificitat única.

3) Els limfòcits que posseeixen receptors específics contra molècules pròpies ubicades són seleccionats (eliminats) en un estat primerenc del desenvolupament.

4) Els altres evolucionen cap a formes madures.

5) Quan els limfòcits madurs interaccionen amb un antígen estrany i poden unir-se.

6) ho fan i aleshores es produeix una proliferació de clons de si mateixos.



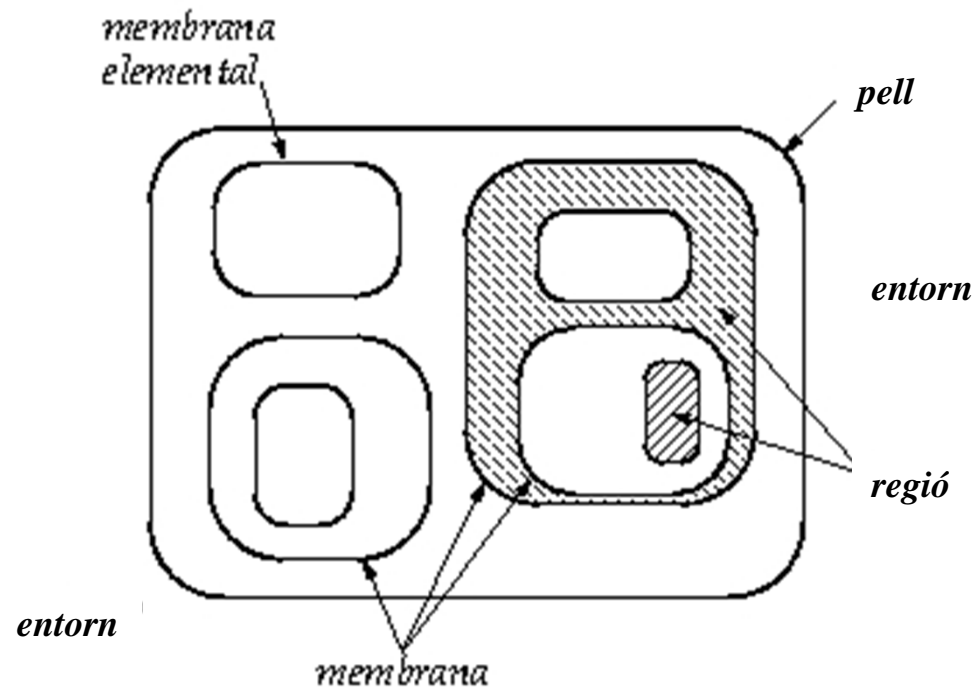
1

Computació cel·lular amb membranes

Nivell de la computació: cel·lular

- 1998: Gh. Paun introdueix aquest model com un model de tipus distribuït i paral·lel, inspirat en el funcionament de la cèl·lula com un organisme viu capaç de processar i generar informació.

- una cèl·lula pot considerar-se com una màquina que realitza un procés de càlcul:
- model de computació abstracta potent (resolució) i senzill (implementació i execució)



estructura interna de la cèl·lula:

- diferents tipus de *membranes* que permeten el pas (flux) de certs compostos químics, potser de forma selectiva i unidireccional.
- les reaccions químiques que provoquen la transformació dels components químics presents en les membranes i el flux que circula poden interpretar-se com a procediments de càlcul.

1

Computació cel·lular amb membranes

P-sistema

Regions delimitades per *membranes*,
en una estructura anidada jeràrquica

- cada regió conté
 - *objectes
 - *regles de transformació que modifiquen els objectes
 - *regles de transferència que especifiquen si els objectes passen a l'exterior de la regió o s'hi queden
- Les regions es comuniquen per transferència d'objectes.
- La computació per sistema de membranes comença amb una configuració inicial (nombre d'objectes de cada regió).
- Procés: elegir quines regles s'apliquen als objectes.
- El resultat de la computació s'obté en una regió determinada a priori.

1

Computació cel·lular amb membranes

Aplicacions

- Aprenentatge
- Modelatge de processos biològics (fotosíntesi, immunitat basada en cèl·lules....)
- Gràfics, criptografia (clau pública)
- Algorismes de classificació
- Problemes computacionals difícils de formalitzar

Objectiu

aconseguir comportament global coherent i robust

Característiques

- Desenvolupa principis organitzacionals i llenguatges de programació (gran nombre d'unitats no fiables interconnectades de forma desconeguda, irregular i variable segons el temps)
- No necessita una geometria ni unes interconnexions precises
- No existeix sincronització global
- Comunicació limitada per la distància

Paradigma de programació d'un sistema amorf:

Propagació de l'ona \longrightarrow Gradients observats en la biologia:

- Una partícula inicial “d'ancoratge” (elecció aleatòria) propaga un missatge als seus veïns.
- Si el missatge conté bots es podrà fer una estimació de la distància entre partícules a partir del nombre de bots. La qualitat d'aquesta estimació depèn de la distribució de les partícules (xarxes de paquets de ràdio [Kleinrock y Silvester])
- Es poden utilitzar 2 i 3 ancoratges (sistema de coordenades) [Coore i Nagpal].

Evocació dels gradients formats per difusió química (juga un paper important en la formació de patrons biològics).

1

Computació amorfa

Origen: Dues tecnologies noves

1) la microfabricació

* baix cost

* combinació de circuits lògics (microsenors, transistors i dispositius de comunicació englobats en un únic integrat) + materials (pintura, gel, ...)

2) l'enginyeria cel·lular

* comprensió dels mecanismes bioquímics de les cèl·lules (botànica: punts de creixement i tropismes; marcadors de propagació a través de la dilució)

* construcció de cèl·lules biològiques per a funcionar com a sensors o agents

Aplicacions

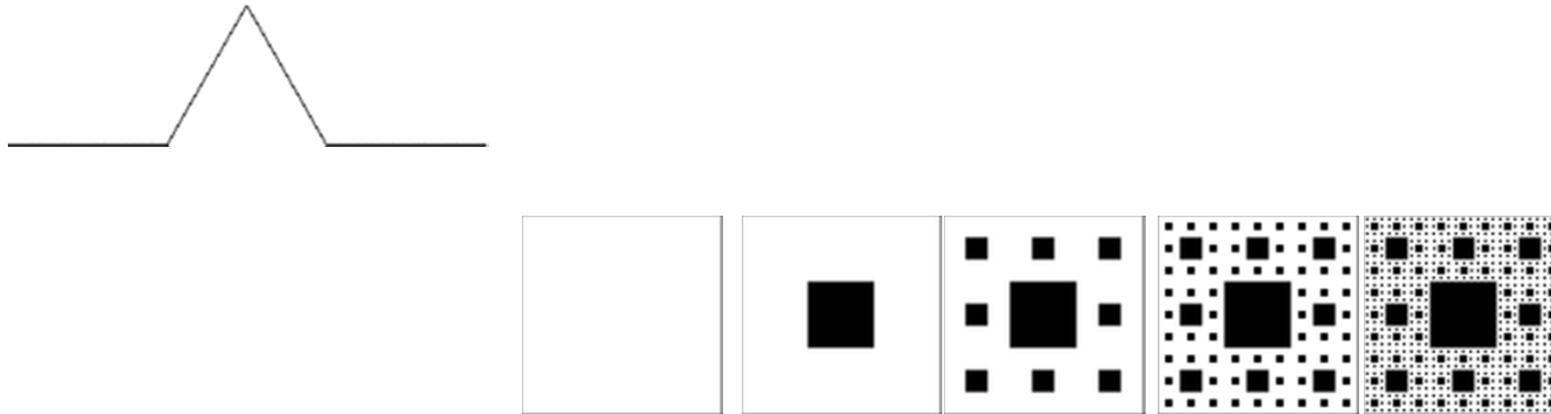
- pintura intel·ligent
- injecció de nanobots en el cos humà per a segellar queixals mitjançant pròtesis dentals; reparar neurones...

2- Síntesi de fenòmens naturals el el computador

2

Fractals

Són un producte final que s'origina a través de la iteració d'un procés geomètric.



1890: idea d'Henri Poincaré

1918: Gaston Julia i Pierre Fatou

1974: IBM desenvolupament dels computadors digitals.

1977: «*Aquests objectes estan presents en molts processos i formes de la naturalesa*»

Mandelbrot, de la Universitat de Yale, és considerat pare de la geometria fractal.

- * Processos de separació de fronteres entre dos medis
- * Processos de ramificació
- * Processos de formació de porositat

2

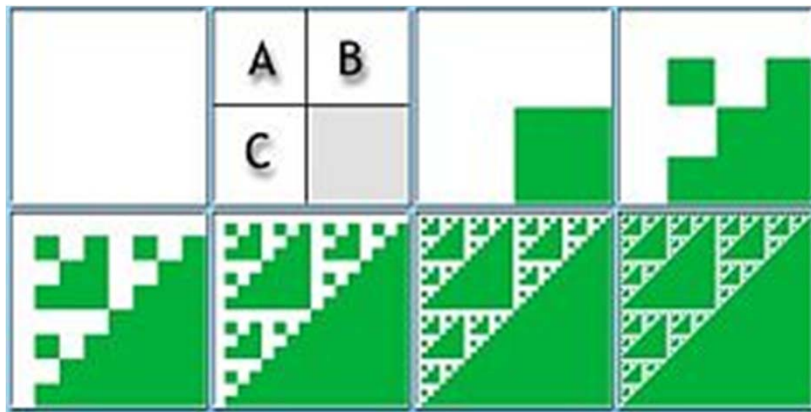
Fractals

Característiques

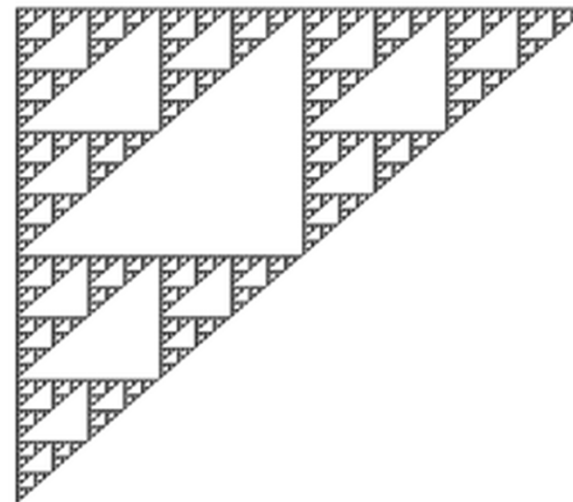
✓ AUTOSIMITUD

Segons Mandelbrot, un objecte és autosimilar si les seues parts tenen la mateixa forma o estructura que el tot, però poden presentar-se a diferent escala i poden estar lleugerament deformades.

* **Autosimilitud exacta:** el tipus més restrictiu d'autosimilitud: exigeix que el fractal semble idèntic a diferents escales (sistemes de funcions iterades)



Triangle de Sierpinsky



2

Fractals

Característiques

* **Quasiautosimilitud**: el fractal ha d'aparèixer quasi idèntic a diferents escales; conté còpies menors i distorsionades de si mateix (relacions de recurrència)

* **Autosimilitud estadística**. És el tipus més dèbil d'autosimilitud. El fractal ha de tindre mesures numèriques o estadístiques que es preservem amb el canvi d'escala (fractals aleatoris).

✓ DIMENSIÓ

dimensió fraccionària. No tenen dimensió 1, 2 o 3 com la majoria dels objectes als quals estem acostumats. Els fractals tenen usualment una dimensió que no es sencera, per exemple: 1,55.

* La geometria tradicional (euclidiana) tracta de les propietats i mesures d'elements com punts, línies, plànols i volums així com dels conjunts formats per la unió dels elements citats (figures o formes específiques).

* Els elements de la natura (muntanyes, franges costeres, sistemes hidrogràfics, núvols, fulles, arbres, vegetals, flocs de neu, etc...) no poden descriure's fàcilment mitjançant la geometria tradicional.

La geometria fractal proporciona una descripció i un model matemàtic adient per a les complicades formes de la natura.

EUCLIDIANA

Tradicional (més de 2000 anys)

Dimensió sencera

Tracta objectes creats per l'ésser humà

Descrita per fórmules

FRACTAL

Moderna (aprox. 40 anys)

Dimensió fractal

Apropiada per a formes naturals

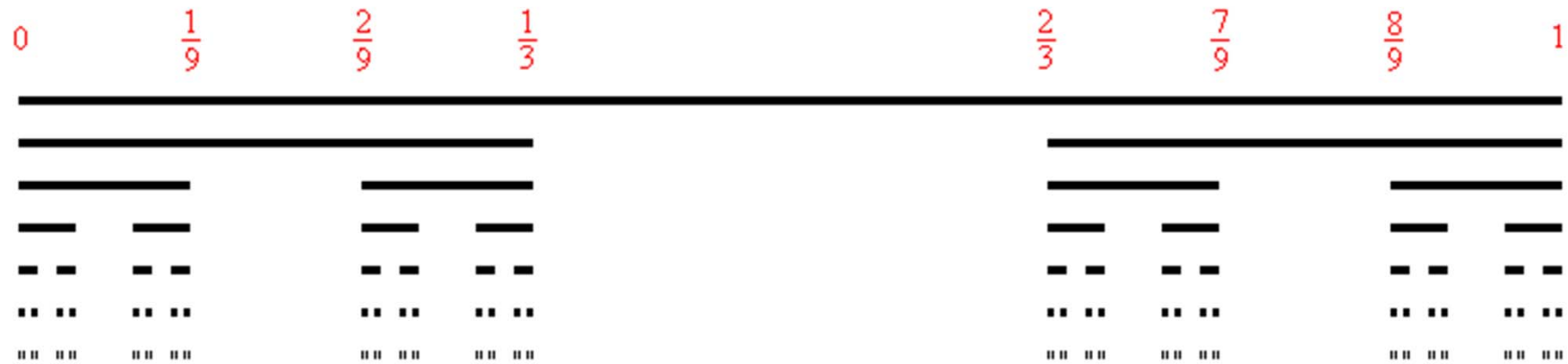
Algorisme recursiu (iteració)

Tècniques per a generar fractals (algorismes recursius)

- **Sistemes de funcions iterades (IFS):** el conjunt de Cantor, la catifa de Sierpinski, el triangle de Sierpinski, la corba de Peano, la corba del drac, el floc de neu de Koch o l'Esponja de Menger, en són alguns exemples.
- **Fractals d'algorismes d'Escapament**, definits per una relació de recurrència en cada punt de l'espai (per exemple, el plànol complex): el conjunt de Mandelbrot, conjunt de Julia, i el fractal de Lyapunov.
- **Fractals aleatoris**, generats per processos estocàstics, no deterministes: el moviment brownià, el vol de Lévy, els paisatges fractals o els arbres brownians.

Fractals

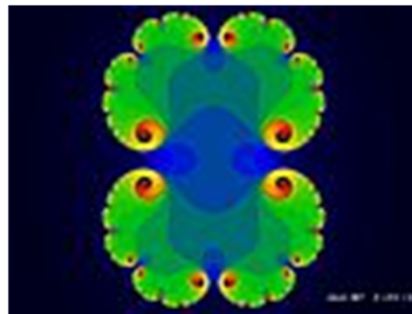
- **Sistemes de funcions iterades (IFS):** el conjunt de Cantor



Fractals

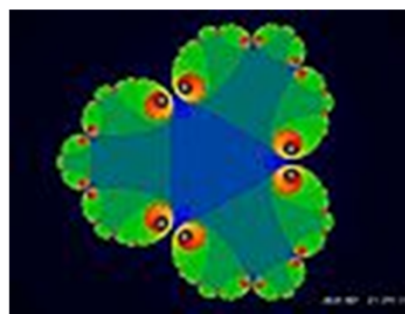
- **Fractals d'algorismes d'Escapament:** definits per una relació de recurrència en cada punt de l'espai.

fractals del tipus Julia $Z = Z^m + C$



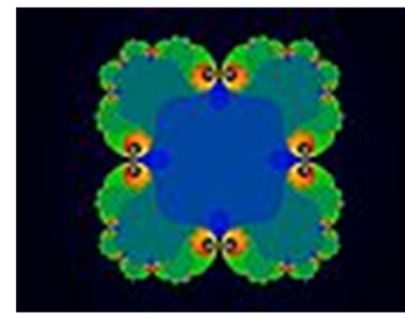
$$Z = Z^2 + C$$

Cx=0.279 Cy=0.000



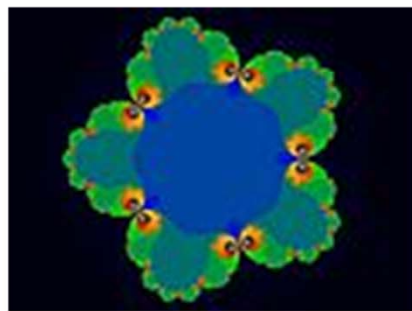
$$Z = Z^3 + C$$

Cx=0.400 Cy=0.000



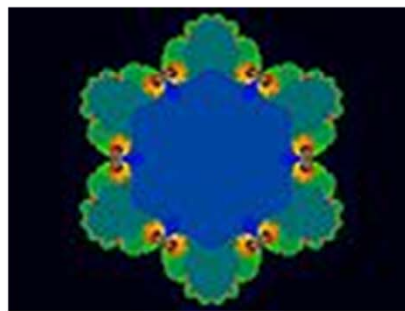
$$Z = Z^4 + C$$

Cx=0.484 Cy=0.000



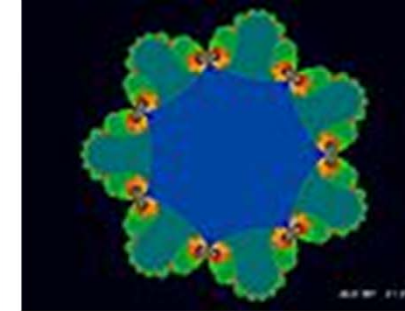
$$Z = Z^5 + C$$

Cx=0.544 Cy=0.000



$$Z = Z^6 + C$$

Cx=0.590 Cy=0.000

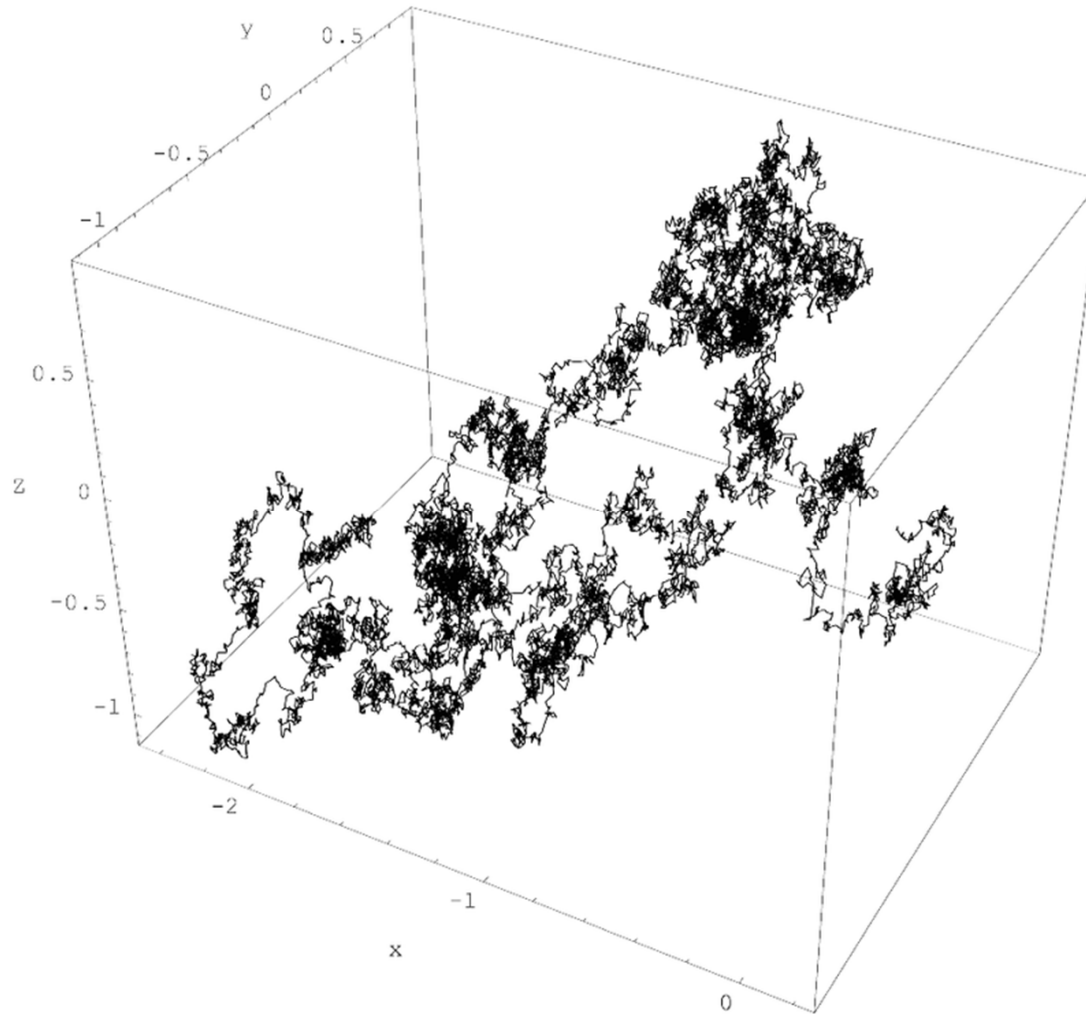


$$Z = Z^7 + C$$

Cx=0.626 Cy=0.000

Fractals

- **Fractals aleatoris**, generats per processos estocàstics, no deterministes: el moviment brownià



2

Vida artificial

vida artificial: segons *Christopher Langton*

✓ *és la ciència que tracta de situar la vida "tal com és" dins del context de la vida "tal i com podria ser".*

✓ És el camp d'estudi dedicat a la comprensió de la vida, intentant abstraure'n els principis dinàmics fonamentals subjacents als fenòmens biològics i recreant aquestes dinàmiques en altres medis físics.

Principal centre d'investigació: Institut de Santa Fe per a l'Estudi dels Sistemes Complexos

1987: "Primera Conferència Internacional de la Síntesi i Simulació de Sistemes Vius "
(coneguda com a Vida Artificial I, en Los Alamos)

- Tècniques en controvèrsia («*Ciència sense fets...*» John Maynard Smith, 1995)
- Publicacions recents (Science, Nature) les avalen almenys com a mètode d'estudi de l'evolució

Per què la vida artificial?

Hi ha necessitat d'una Biologia Teòrica amb lleis universals per tal de

- Determinar les característiques que defineixen els processos vius independentment de la materialitat terrestre.
- Investigar els mecanismes bioquímics que fan emergir “allò que està viu” com un fenomen no reduïble a parts.

Arguments a favor:

- Els progressos en la teoria matemàtica dels Sistemes Dinàmics (patrons emergents complexos).
- Noves necessitats en el camp de la robòtica (exploració espacial, treballs penosos, cooperació en quadrilles, etc...).
- Noves possibilitats en el camp de la robòtica a causa de la disminució dels processadors (robots menuts que imiten les conductes animals, individuals i col·lectives).
- Nova crisi del programari. L'augment de la velocitat de processament i la capacitat de memòria dels ordenadors així com la disminució de la seua grandària fan possible distribuir la informació i el processament (creació d'espais en línia que necessiten uns llenguatges nous inspirats en sistemes com els ecosistemes).

Aplicacions

- Sistemes complexos adaptatius, que han produït una nova generació de sistemes experts amb capacitat per aprendre i evolucionar.
- Autòmats cel·lulars que imiten funcions dels organismes cel·lulars en programes complexos.
- La computació quàntica que fa possible una nova forma de càlculs binaris.

3- Computació realitzada amb nous materials naturals

3

Computació mol·lecular

Antecedents

Finals dels 50: idea de R. Feynman que postula la necessitat de considerar operacions *submicroscòpiques* com a alternativa a la miniaturització dels components físics dels ordenadors.

1983, R. Churchhouse estableix les limitacions de càlcul d'un processador convencional (temps, grandària del μ processador).

MODEL SPLICING (1987, T. Head)

primer model computacional abstracte basat en la manipulació de les molècules d'ADN.

- * la informació s'emmagatzema en cadenes de caràcters (igual que en l'ADN).
- * les operacions que es fan sobre les cadenes són similars a les que realitzen certs enzims sobre l'ADN.

Aplicacions

1994 : L.M. Adleman resol una instància concreta d'un problema *computacionalment intractable* mitjançant tècniques de biologia molecular (similar al model de Head).

2000: UCA. Desenvolupa un interruptor.

- * 1 nm, al costat dels 5000nm dels xips actuals.
- * estalvi d'energia (reacció química en lloc d'electricitat).
- * velocitat de processament estimada 100.000 milions de vegades més que un ordinador
- * capacitat equivalent a 100 ordinadors convencionals en la grandària d'un gra de sal.

3

Computació molecular

Models alternatius al de T. Head.

- a) ADN molècula bàsica + operacions amb altres primitives
- b) Tipus diferents de molècules (ARN) + operacions

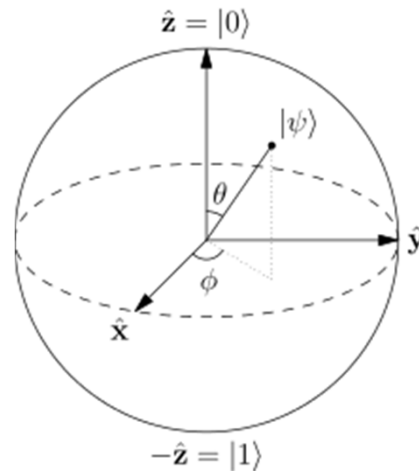
CONCLUSIÓ

- Els models moleculars són una branca de la Computació que inclou des de les matemàtiques fins a l'experimentació en biologia molecular.
- La creació de nous models necessita unes tècniques noves i eficients de manipulació de les molècules.

3

Computació Quàntica

- Raó: l'augment de l'escala d'integració i la velocitat de processament fins un límit (efecte túnel).
- 1981: Paul Benioff proposa aprofitar les lleis quàntiques en l'àmbit de la computació.
- ❖ En la computació quàntica, una partícula pot estar en superposició coherent: pot ser 0 o 1 i pot ser 0 i 1 alhora (dos estats ortogonals d'una partícula subatòmica). Això permet que es pugui fer més d'una operació alhora, segons el nombre de qu-bits (bits en superposició).
- ❖ El nombre d'operacions és exponencial respecte dels qu-bits



L'esfera de Bloch és una representació d'un qubit, el bloc de construcció fonamental dels ordinadors quàntics.

Per a fer-se una idea: un computador quàntic de 30 qu-bits equivaldria a un processador convencional de 10 teraflops (10 milions de milions d'operacions en coma flotant/ s. quan en l'actualitat la velocitat dels computadores és de l'orde del gigaflop (milers de milions d'operacions/s).

3

Computació Quàntica

Problemes de la computació quàntica

- Decoherència: com un sistema físic, sota certes condicions ja no exhibeix els efectes quàntics i passa a exhibir un comportament típicament clàssic.
- La taxa d'error és proporcional a la relació entre el temps d'operació i el temps de decoherència, per això els càlculs s'han de fer en un temps inferior al de decoherència
- Taxa límit d'error: 10^{-4}
- Escalabilitat: gran augment de qu-bits necessaris per a implementar la correcció d'errors crea problemes de disseny.

Com aproximar els fenòmens naturals mitjançant funcions

1. Proposta de mètodes de modelatge basats en funcions recursives

1

Mètodes de modelatge

- Funcions recursives

$$F_0 \in \mathbb{R},$$

$$F_{i+1} = \alpha F_i + \beta G_i,$$

$$\forall i, i \in \mathbb{N}, (F_i, G_i) \in \mathbb{R}^2, (\alpha, \beta) \in \mathbb{R}^2$$

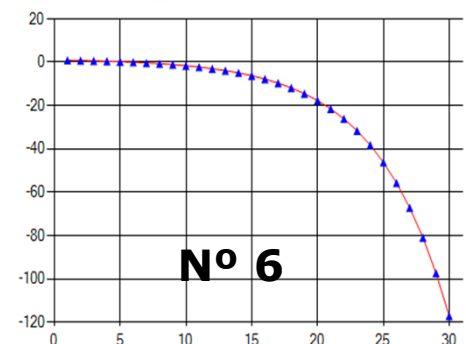
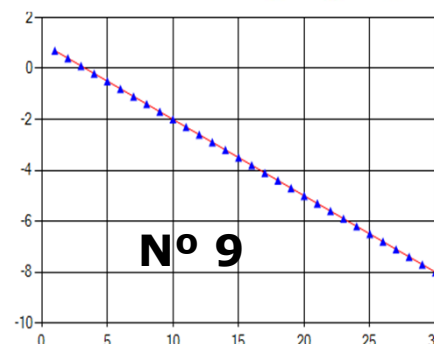
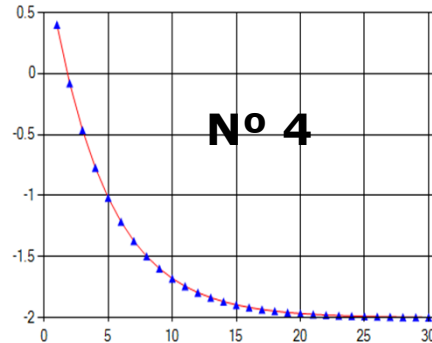
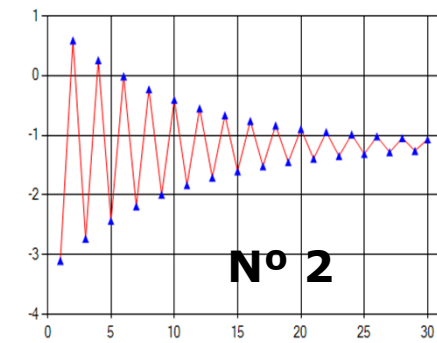
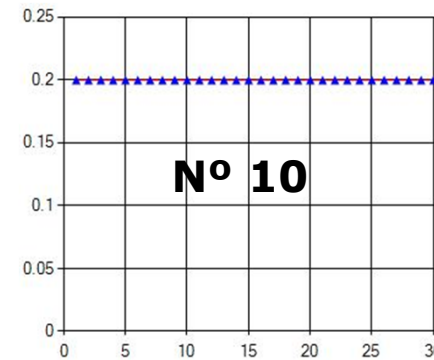
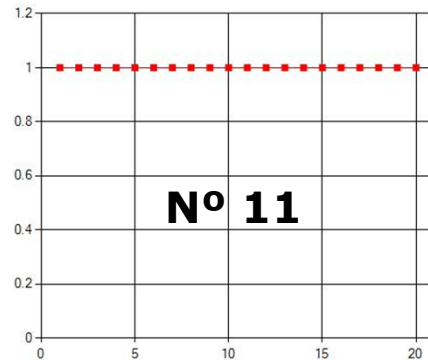
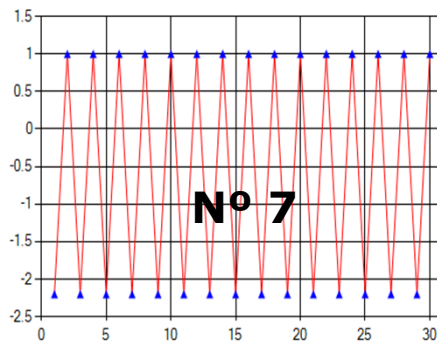
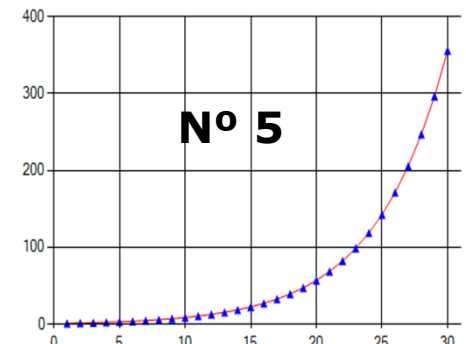
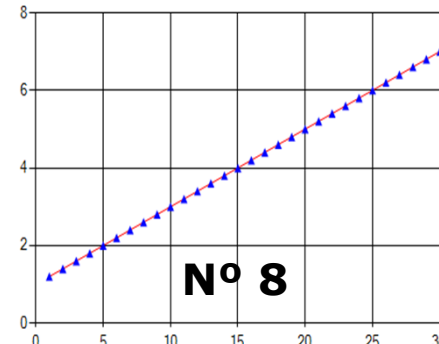
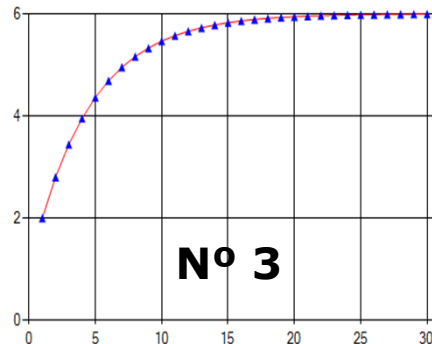
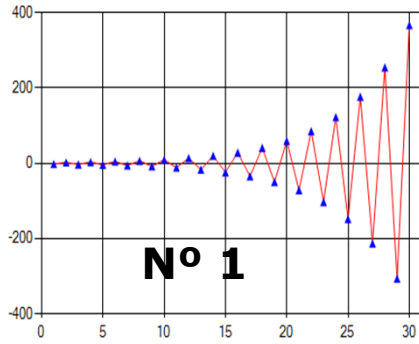
Assumim, de moment: $G = 1$

α, β i F_0 són variables

1

Mètodes de modelatge

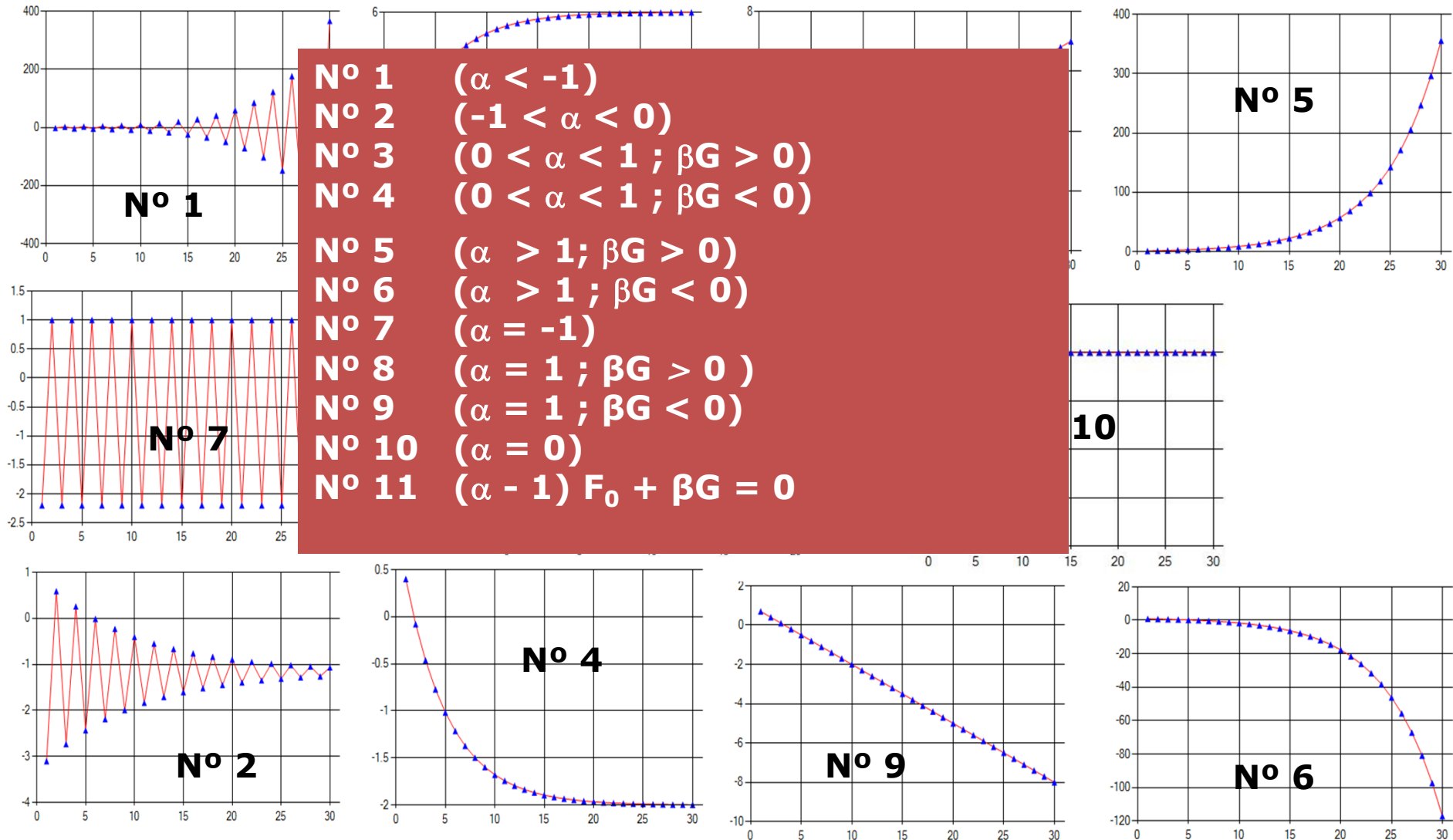
Les funcions generen comportaments elementals



1

Mètodes de modelatge

Les funcions generen comportaments elementals



1

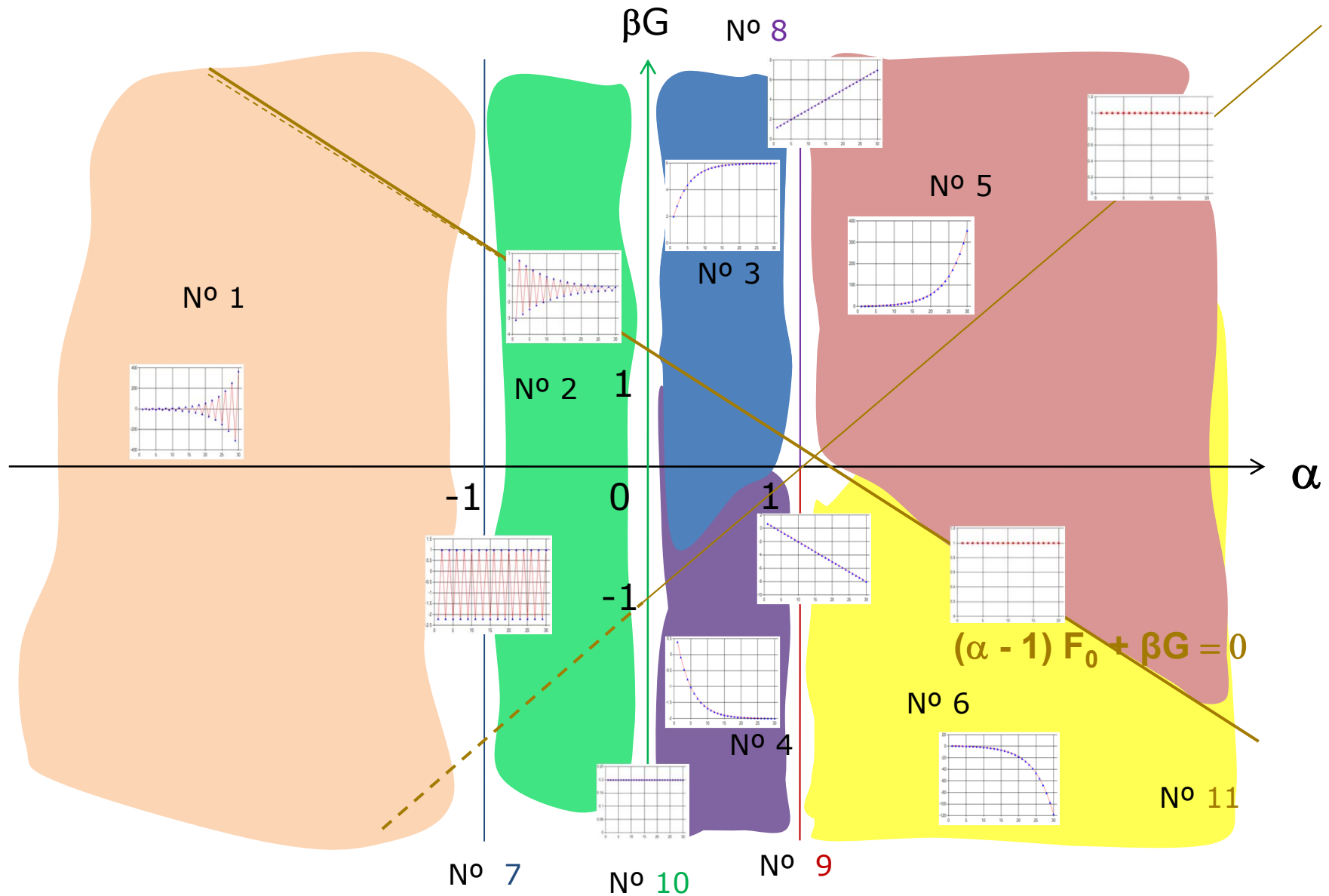
Mètodes de modelatge

Característiques dels comportaments

- ✓ Caràcter oscil·latori o no oscil·latori
- ✓ Orientació de l'oscil·lació
- ✓ Amplitud
- ✓ Creixement o decreixement
- ✓ Asíptota horitzontal o vertical
- ✓ Rapidesa de la convergència /divergència
- ✓ Fronteres entre comportaments

1

Mètodes de modelatge



1

Mètodes de modelatge

		α		β		F_0	
		augmenta	disminueix	augmenta	disminueix	augmenta	disminueix
Comportament 3	Pendent inicial	↑↑↑	↓↓↓	↑↑	↓↓	↓	↑
	Velocitat de convergència	↓↓↓	↑↑↑	↓↓	↑↑	↓	↑
	Valor de la convergència	↑↑↑	↓↓↓	↑↑	↓↓	Sense impacte	Sense impacte
$(\alpha - 1) F_0 + \beta G > 0$							
Comportament 4	Pendent inicial	↑↑↑	↓↓↓	↑↑	↓↓	↑	↓
	Velocitat de convergència	↓↓↓	↑↑↑	↓↓	↑↑	↑	↓
	Valor de la convergència	↑↑↑	↓↓↓	↑↑	↓↓	Sense impacte	Sense impacte
$(\alpha - 1) F_0 + \beta G < 0$							

1

Mètodes de modelatge

En l'interval d'estabilitat que correspon als comportaments 3 i 4, la variació de paràmetres provoca canvis menors en:

- ✓ El pendent inicial
- ✓ La rapidesa de la convergència
- ✓ El valor de la convergència

Els canvis menors s'han estimat de forma qualitativa:

↑ **poc**; ↑↑ **prou**; ↑↑↑ **molt**
↑ **augment**; ↓ **disminució**

1

Mètodes de modelatge

Aplicacions

- ✓ *Brots inductors d'espigues en la regió CA3 de l'hipocamp*
- ✓ *Generadors centrals de patrons neuronals (CPGs)*
- ✓ *Resiliència (modelatge d'arquetips, model predador/presa,)*

1

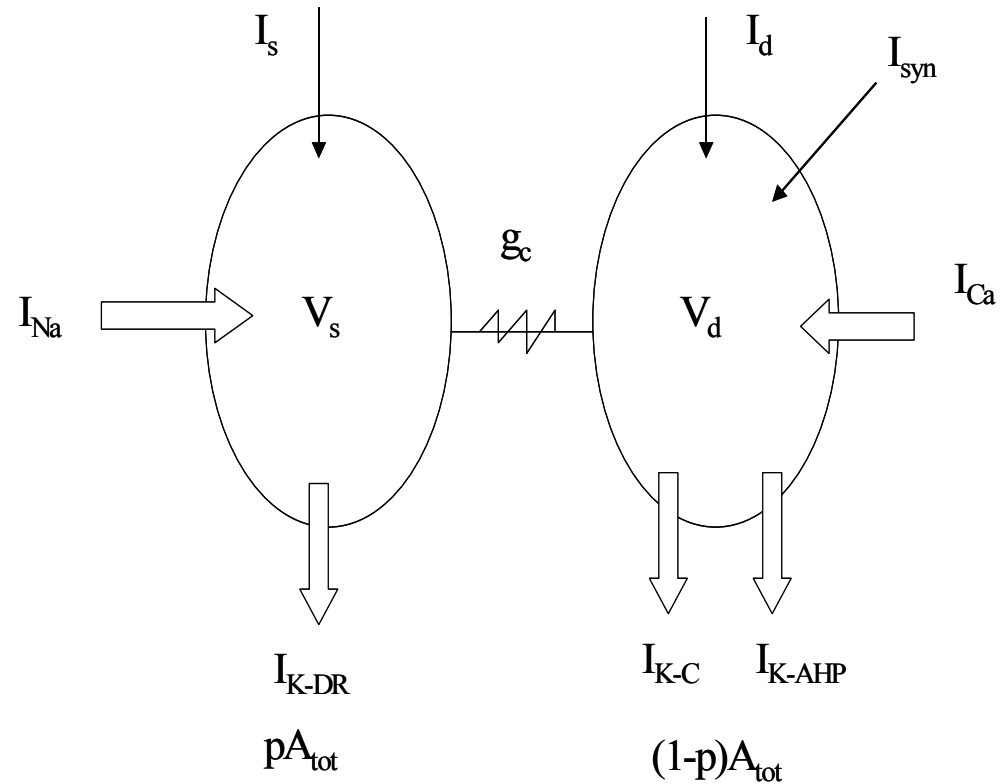
Mètodes de modelatge

✓ Brots inductors d'espigues en la regió CA3 de l'hipocamp

hipocamp

- zona del cervell relacionada amb l'aprenentatge

- Produïx unes espigues sincronitzades que depenen de I_s (mA/cm²), g_{NMDA} (mS/cm²), g_c (mS/cm²).



Model bicompartimental de Pinsky i Rinzel

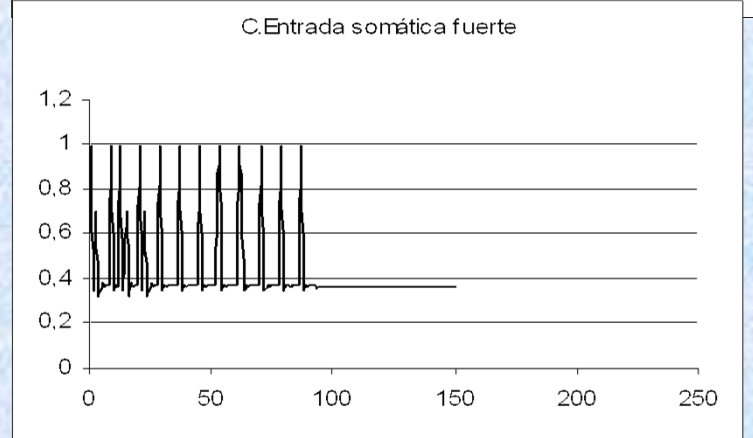
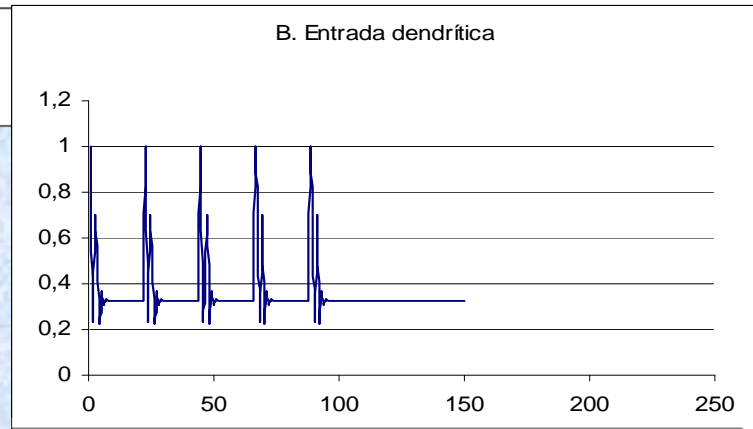
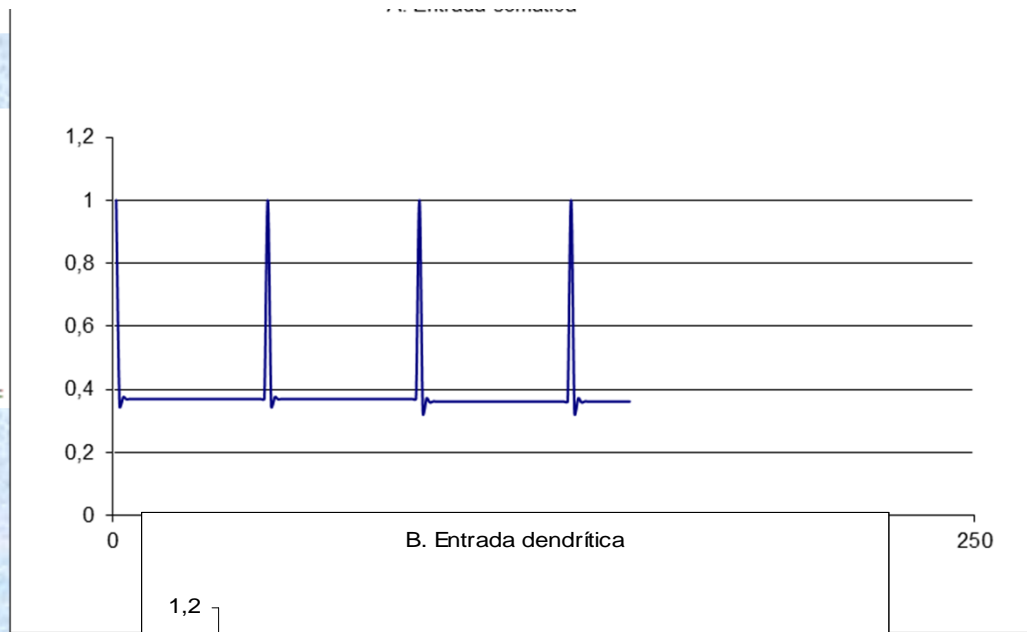
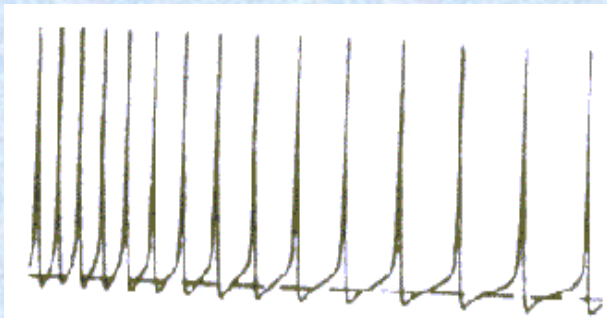
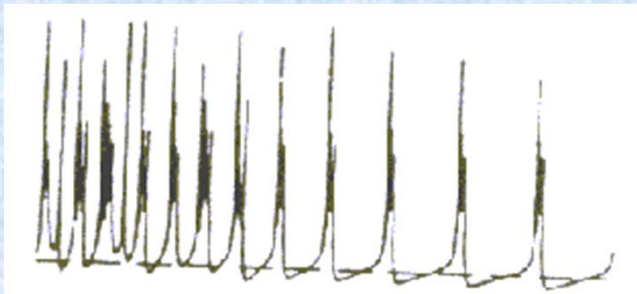
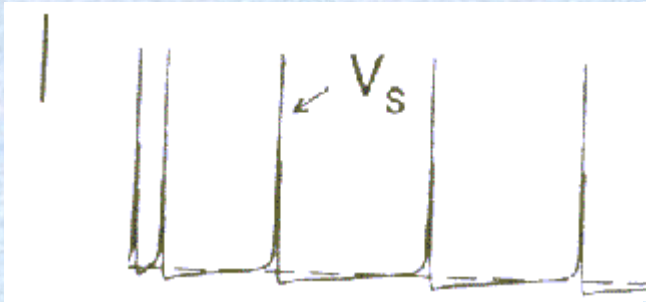
1

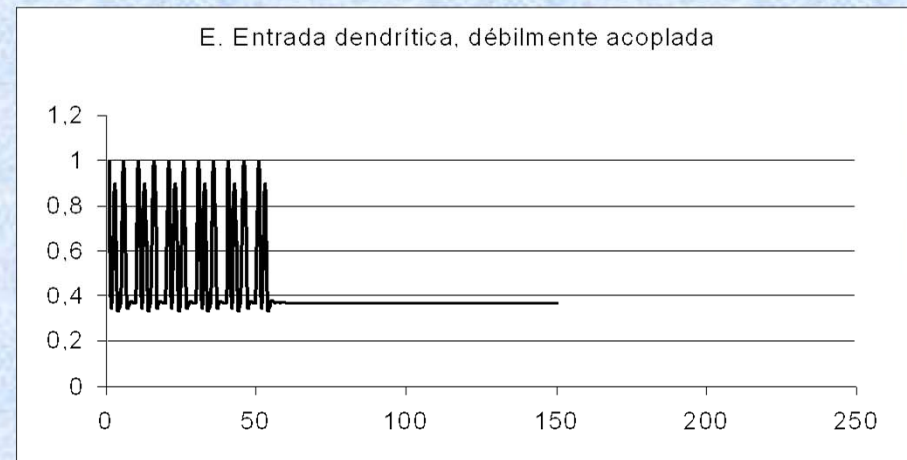
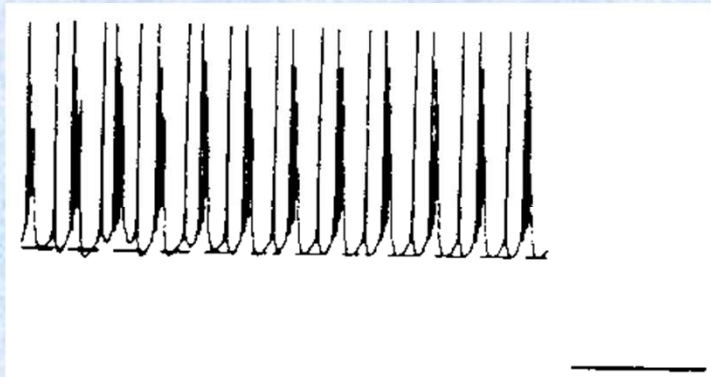
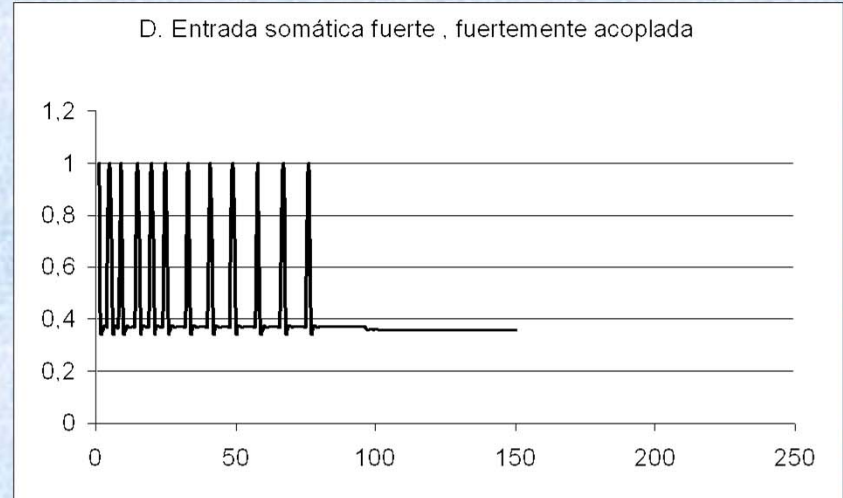
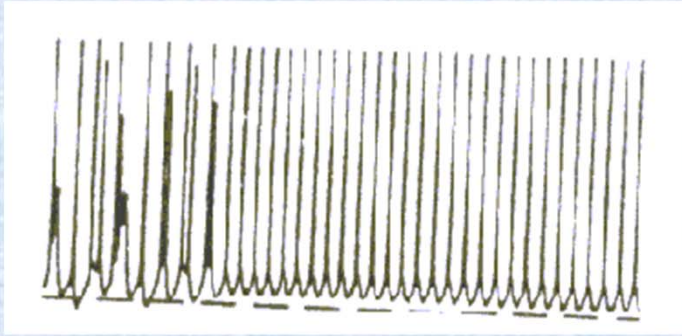
Mètodes de modelatge

- model biofísic de 8 variables, resolució mitjançant el mètode de Runge Kutta
- simulacions programades en FORTRAN
- execució en estació IBM RS6000 RISC

$$C_m V_s' = -I_{Leak}(V_s) - I_{Na}(V_s, h) - I_{K-DR}(V_s, n) + (g_c/p)(V_d - V_s) + I_s/p$$

$$C_m V_d' = -I_{Leak}(V_d) - I_{Ca}(V_d, h) - I_{K-AHP}(V_d, q) - I_{K-C}(V_d, Ca, c) - I_{Syn}/(1-p) + (g_c/(1-p))(V_s - V_d) + I_d/(1-p)$$





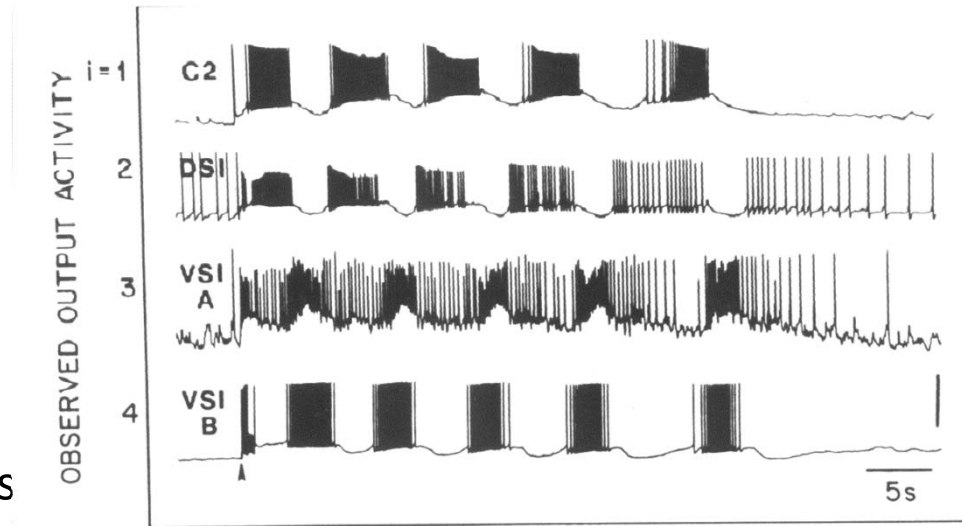
1

Mètodes de modelatge

✓ Generadors centrals de patrons neuronals (CPGs)

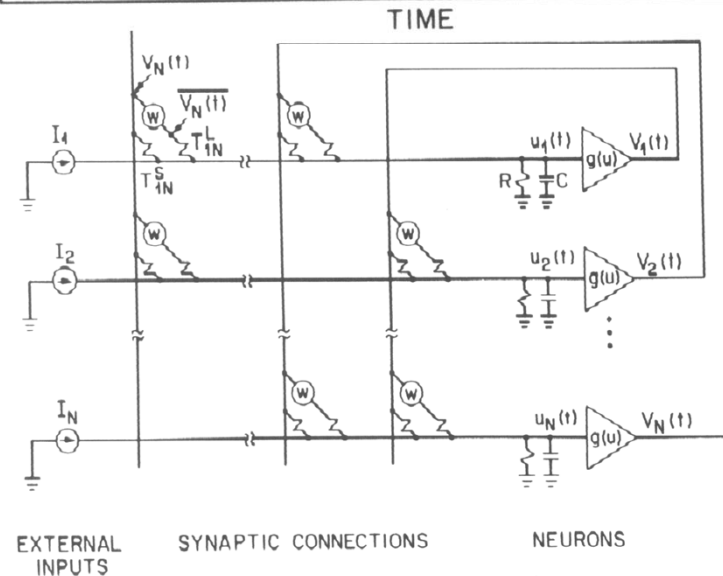
CPG (*Tritonia diomedea*)

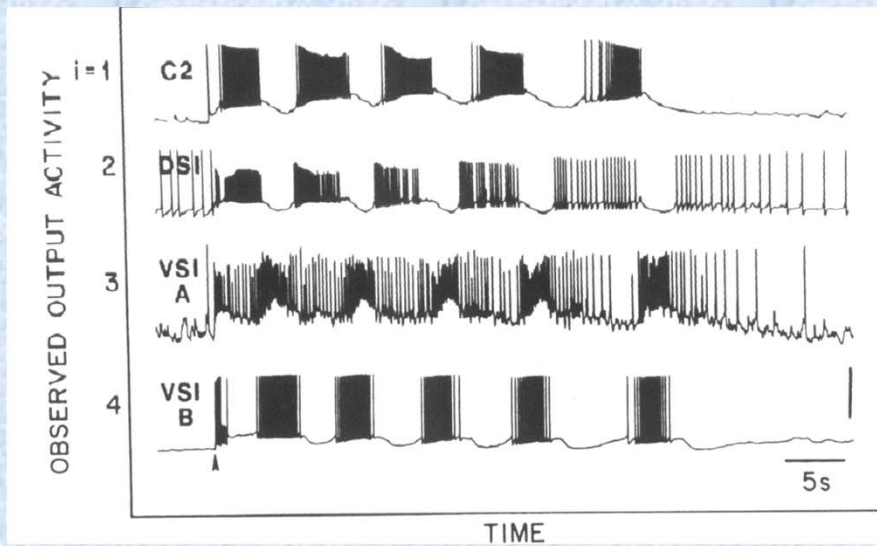
- 4 grups de neurones
- VSI-A i VSI-B accionen les interneurons de la zona ventral
- C2 és la neurona cerebral
- DSI é la interneurona dorsal
- produeixen oscil·lacions coherents



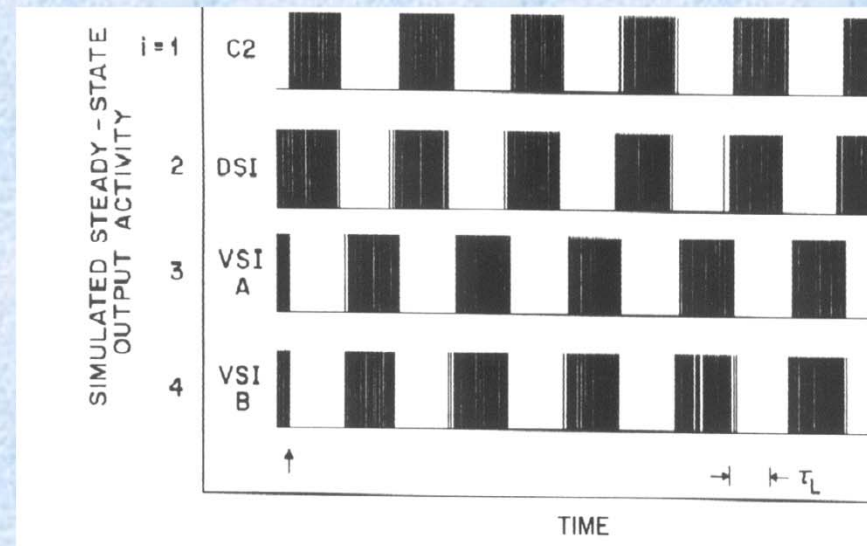
resolució mitjançant xarxes neuronals artificials (Hopfield)

neurones \equiv amplificadors saturats
connexions (pesos sinàptics) \equiv conductàncies
eixides $V_i(t)$

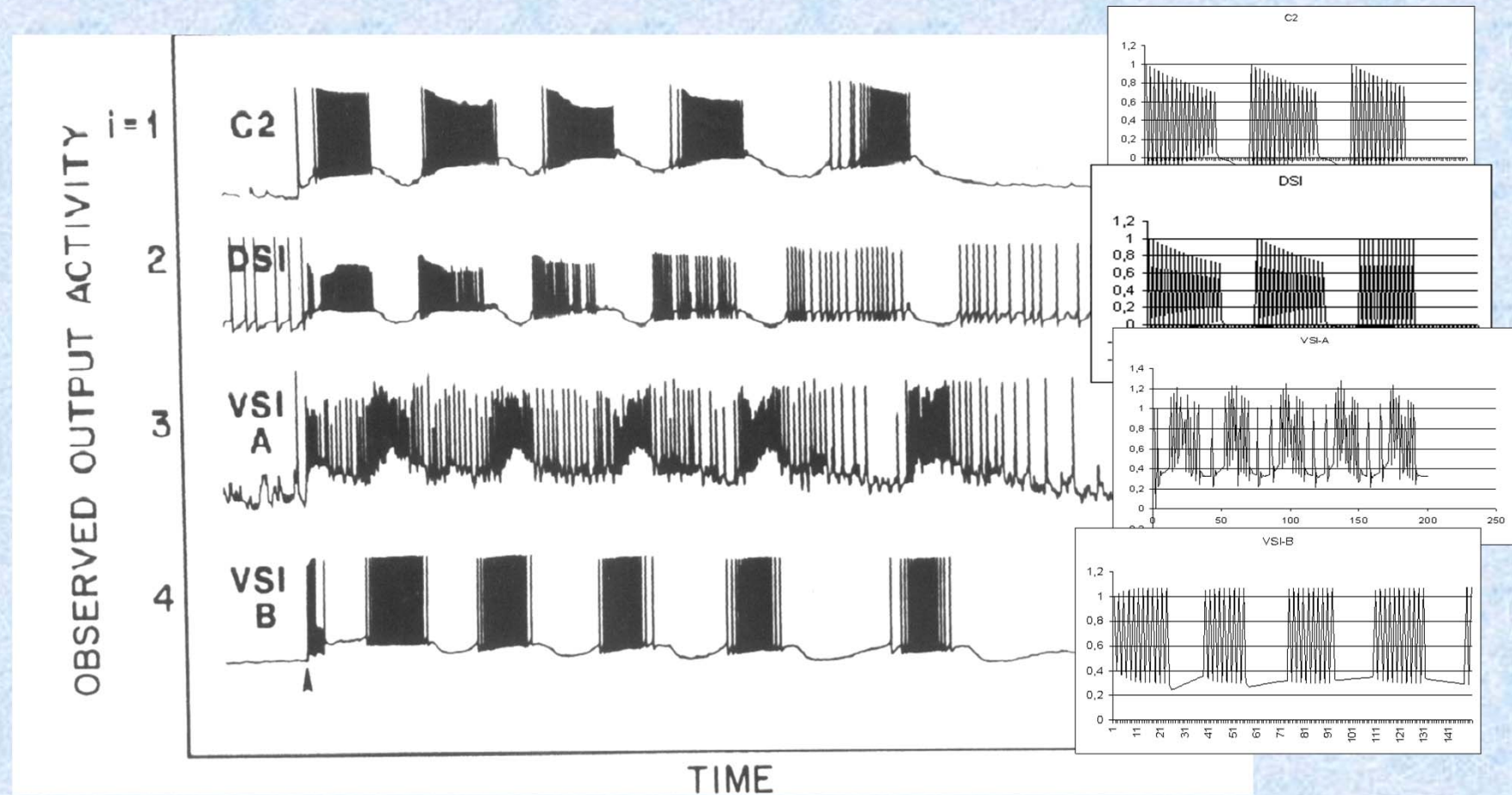




Registre fisiològic



Simulació mitjançant xarxa de Hopfield



Registre fisiològic

Simulació mitjançant funcions recursives

1

Mètodes de modelatge

✓ Resiliència (modelatge d'arquetips, model predador/presa)

Definició:

"Capacitat d'un sistema per a experimentar xocs sense perdre l'essència de la seua funció i estructura, és a dir, de la seua identitat"

- En termes pràctics: *mesura dels canvis que calen per a fer passar un sistema d'una situació on hi ha processos que es reforcen mútuament a una altra situació*
- En general els processos i estructures són implementats pels *atributs* dels sistemes, per exemple
 - ✓ Valor del llindar de la variable d'estat
 - ✓ Velocitat a què s'acosta (o s'allunya) la variable d'estat al (o del) llindar
 - ✓ Canvis en la ubicació del llindar
 - ✓ Llaços de retroalimentació positius o negatius

1

Mètodes de modelatge

La nostra aproximació a les propietats de resiliència dels sistemes

- ✓ modela un conjunt de patrons de comportament utilitzant

$$\forall i, i \in \mathbb{N}; (F_i, G_i) \in \mathbb{R}^2;$$
$$(\alpha, \beta) \in \mathbb{R}^2$$

$$F_{i+1} = \alpha F_i + \beta G_i \quad (1)$$

F modela el sistema i G modela l'esdeveniment extern que incideix sobre el sistema






- ✓ defineix intervals d'estabilitat pels patrons en consonància amb els valors dels paràmetres del model
- ✓ identifica els canvis menors dins de l'interval d'estabilitat
- ✓ proporciona una estimació qualitativa dels canvis com a pas previ a la quantificació.

1

Mètodes de modelatge

Atributs del sistema

Conseqüències del comportament del sistema

- | | | |
|---|---|--|
| ▪ Rang de la variable d'estat |  | Intervals d'estabilitat |
| ▪ Valors de llindar de la variable d'estat |  | Fronteres entre intervals d'estabilitat (comportaments) |
| ▪ Canvis en la ubicació del llindar |  | Variació en la ubicació de les fronteres |
| ▪ Llaços de retroalimentació positius o negatius |  | Convergència o divergència |
| ▪ Velocitat a què s'acosta (o s'allunya) la variable d'estat al (o del) llindar |  | Rapidesa de la convergència o divergència (per les oscil·lacions o per la evolució continua) |

1

Mètodes de modelatge

El model també fa possible la creació d'altres conjunts de comportaments encara més complexos; si en lloc de modelar un esdeveniment extern senzill $G=1$ donem a G una altra expressió funcional.

Per exemple: la composició creuada

L'esdeveniment extern G incideix sobre el sistema S que també acaba influint-hi

$$\forall i, i \in \mathbb{N}; (F_i, G_i) \in \mathbb{R}^2; (\alpha, \beta, \gamma, \delta) \in \mathbb{R}^4$$

$$\begin{aligned} F_{i+1} &= \alpha F_i + \beta G_i \\ G_{i+1} &= \gamma G_i + \delta F_i \end{aligned} \quad (2)$$

1

Mètodes de modelatge

- Arquetips
 - ✓ Faciliten l'anàlisi per a passar de la comprensió parcial d'un sistema particular a un model formalitzat del sistema
 - ✓ Destaquen el conjunt d'actors i interaccions que són essencials per al funcionament del sistema
 - ✓ Poden provar el sistema i predir futures conseqüències
 - ✓ Són eines de valor per a monitoritzar la resiliència del sistemes

Exemples:

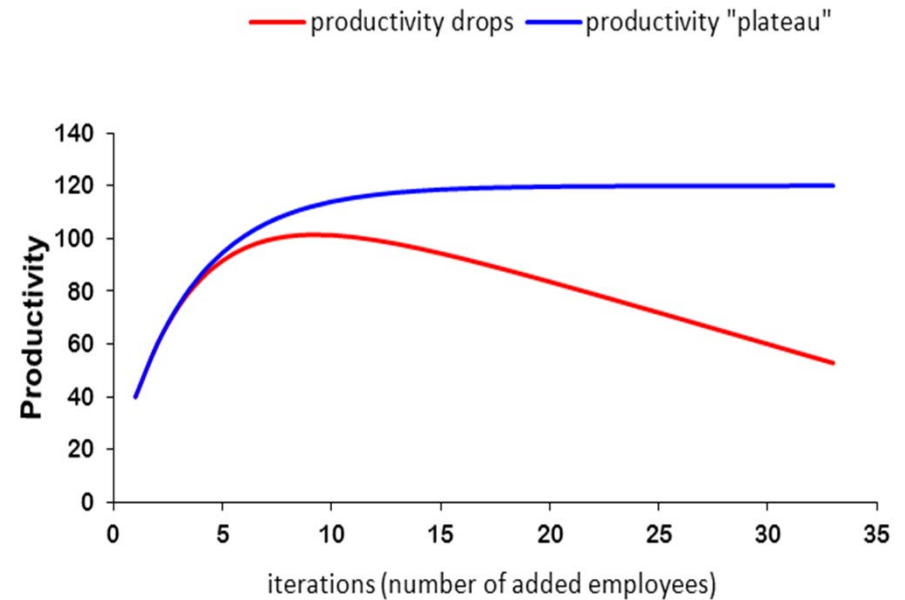
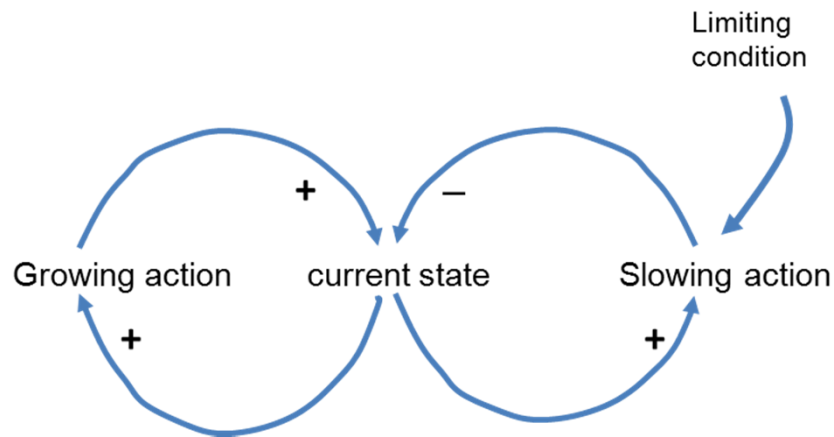
- ❖ *Límits al creixement*
- ❖ *Més èxit per al que té èxit*

1

Mètodes de modelatge

□ Límits al creixement

Exemple: augment dels membres d'un equip per a augmentar-ne la productivitat.



Aquest arquetip pot modelar-se mitjançant l'Eq. 1 o l'Eq.2

F es modela

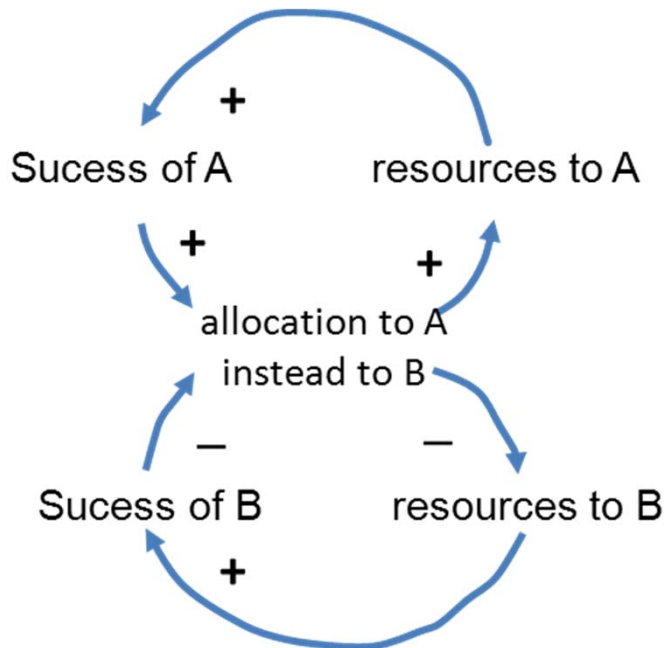
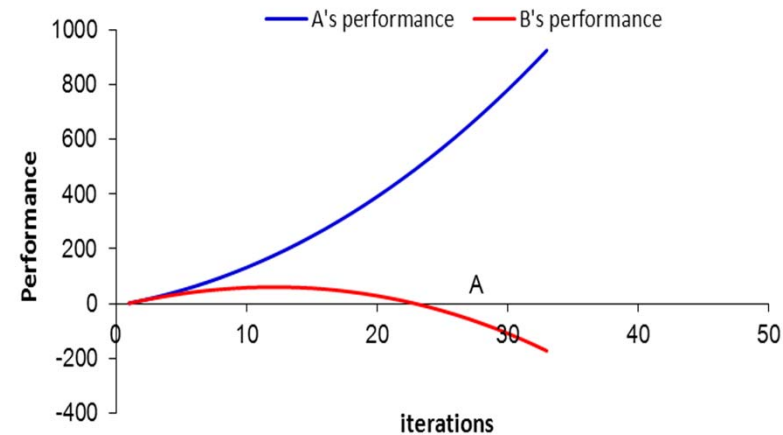
- Mitjançant el comportament núm. 3 i G pel núm. 9 en el cas del decaïment
- Mitjançant el comportament núm. 3 únicament en el cas de l'altiplà

1

Mètodes de modelatge

□ *Més èxit per al que té èxit*

Exemple: *L'èxit inicial d'A justifica que s'hi destinen més recursos, això provoca un sot encara més gran entre A i B que anirà en augment amb el pas del temps*



Aquest arquetip es modela mitjançant l'Eq.2:

- A es modela mitjançant els comportaments núm. 5 i núm. 8
- B es modela mitjançant els comportaments núm. 5 i núm. 9.

1

Mètodes de modelatge

- Models predador/presa
- ✓ Són les peces fonamentals dels sistemes biològics i dels ecosistemes
- ✓ Les espècies competeixen, evolucionen i es dispersen per tal de trobar recursos per a subsistir
- ✓ Alguns exemples d'interacció són: recurs/consumidor, planta/herbívor, virus/sistema immunològic,...
- ✓ Model de Lotka-Volterra: el més simple de tots els models predador/presa

Exemples:

- ❖ *Model Lotke-Volterra: interacció bàsica*
- ❖ *Model Lotke-Volterra: competició*
- ❖ *Model Lotke-Volterra: condicions externes*

1

Mètodes de modelatge

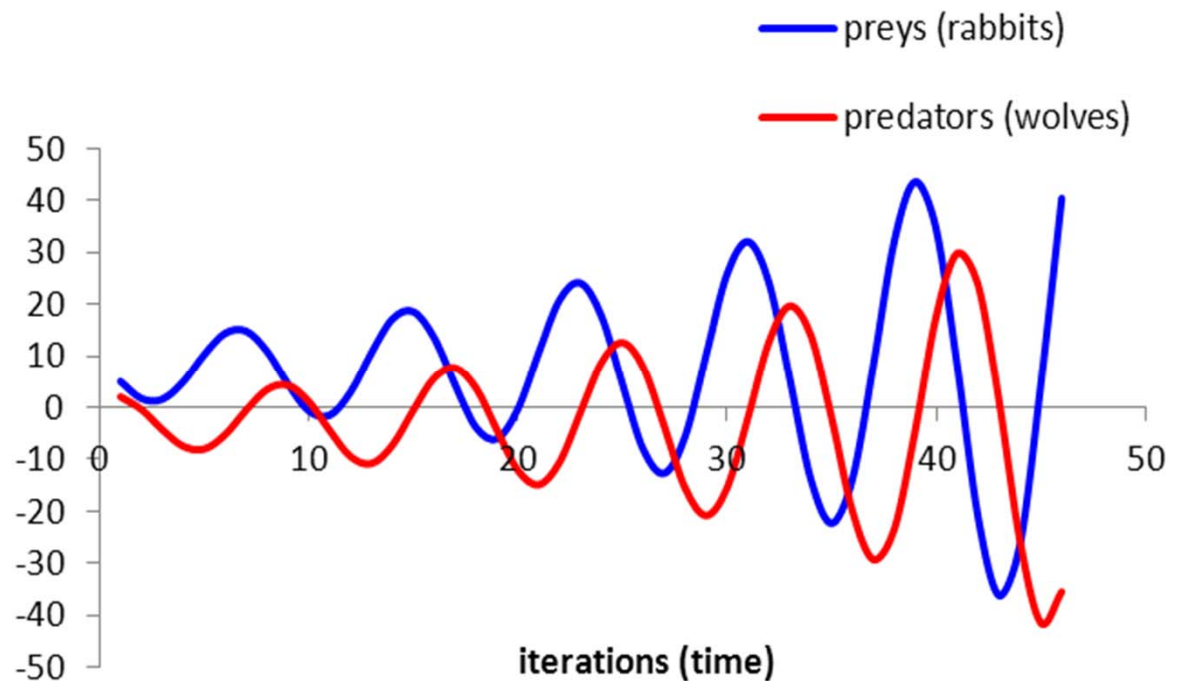
□ Model predador/presa (I)

Exemple:

Interacció bàsica

Comportament cíclic. La població de predadors (llops) segueix a la població de preses (conills)

No és un cas molt habitual, per ser extremadament simplificat.



El comportament cíclic és model mitjançant l'Eq.3.

(el signe de β ha de ser oposat al de γ per tal de modelar un cicle).

1

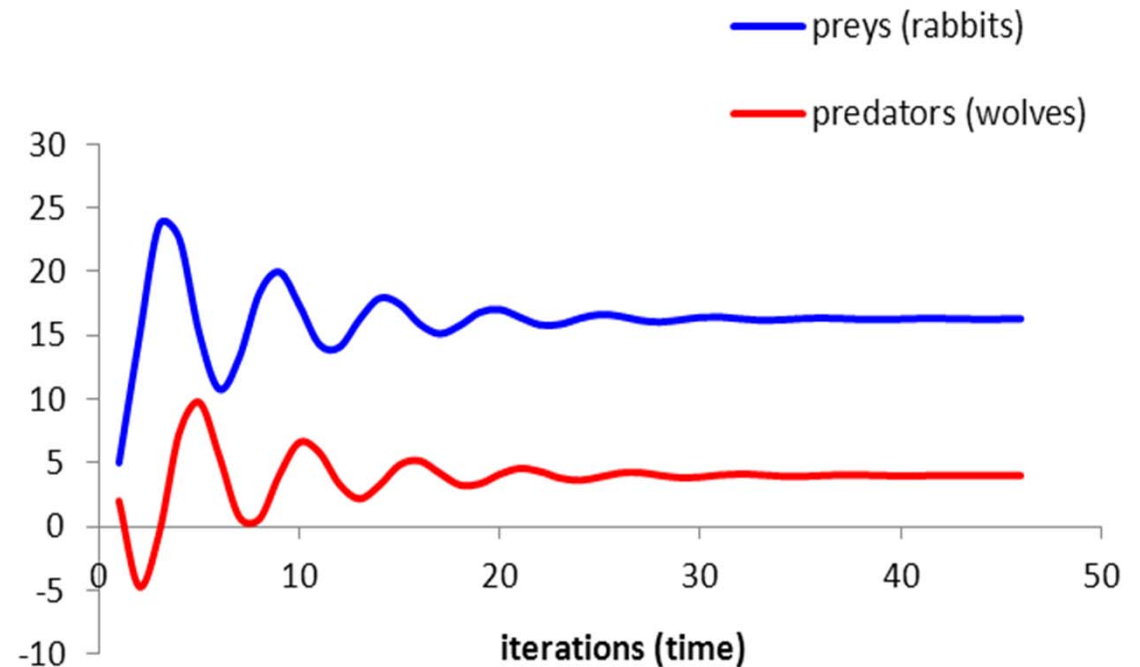
Mètodes de modelatge

□ Model predador/presa (II)

Exemple: Competició

El predador i la presa competeixen pel menjar i la protecció en el bosc, així la població de cada espècie tendeix a l'autocontrol.

Les poblacions disminueixen i, amb el temps, cadascuna s'estabilitza en un valor constant.



El comportament cíclic es modela mitjançant una variant de l'Eq.3.

1

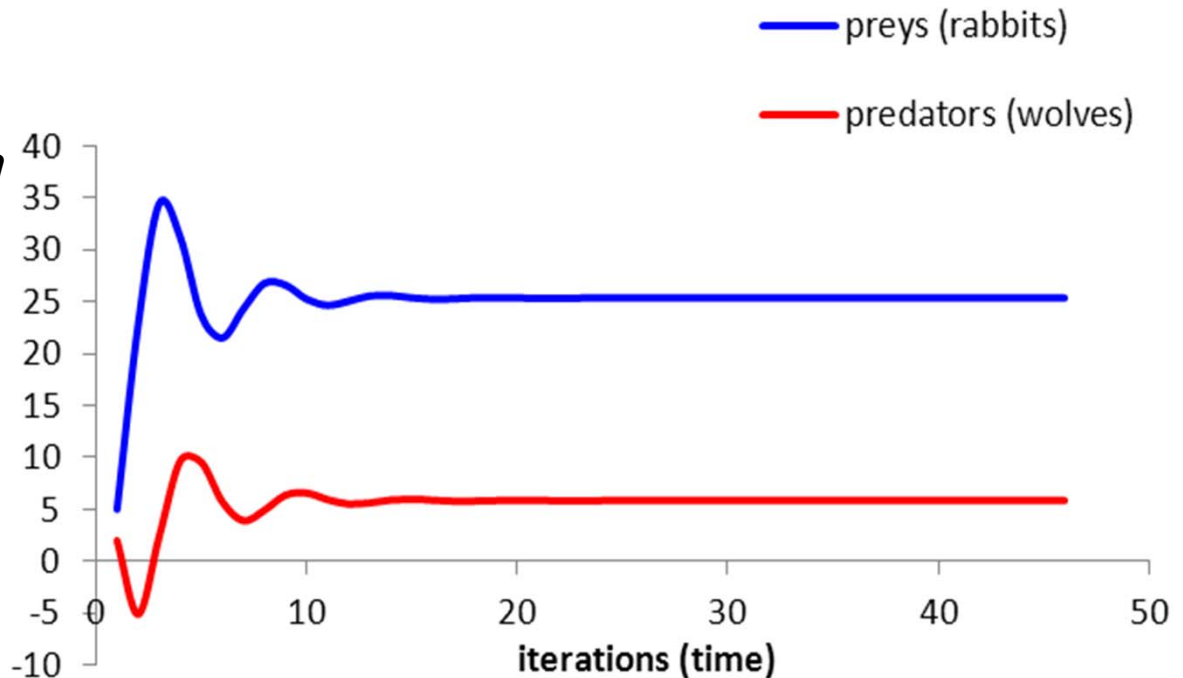
Mètodes de modelatge

□ Model predador/presa (III)

Exemple:

Condicions externes

El nombre de predadors està limitat (els llops són exterminats pels caçadors però no del tot, únicament quan el seu nombre passa d'un cert valor crític) per tal d'evitar un increment excessiu de la població de conills).



Les poblacions s'estabilitzen ràpidament assolint un valor constant.

El comportament cíclic es modela mitjançant una variant de l'Eq.3.

2. Proposta de mètodes de modelatge basats en funcions de proximitat

2

Mètodes de modelatge

- Funcions de proximitat
*operació elemental

$$[0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$$

$$(x_1, x_0) \rightarrow (x_0 \otimes x_1)$$

x_1

	\otimes	0	1
x_0	0	m_3	m_1
	1	m_2	m_0

M : nombre binari

$$m = m_3 m_2 m_1 m_0$$

$$m \in [0, 2^4 - 1];$$

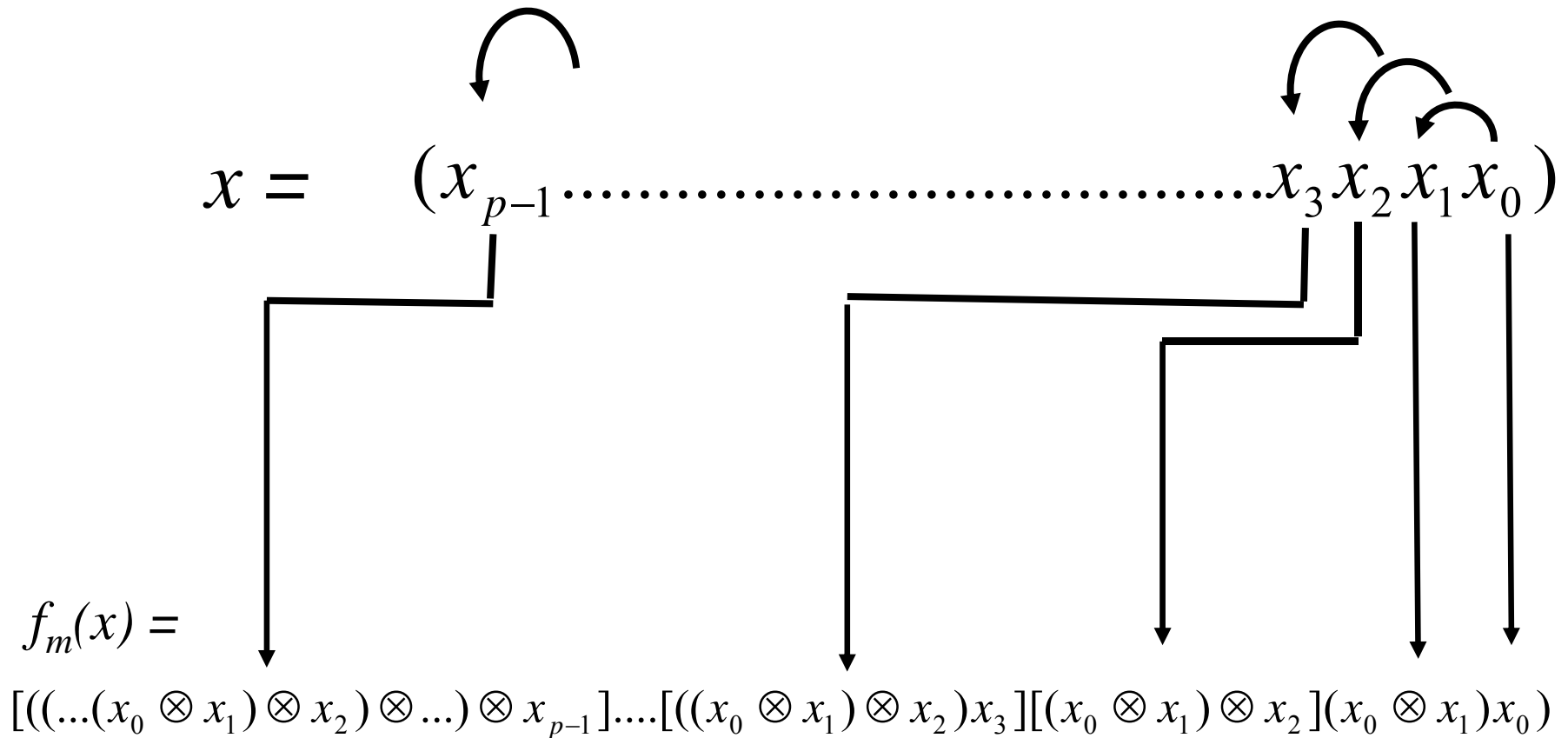
$$i \in [0, 3]; m_i \in \{0, 1\}$$

2

Mètodes de modelatge

- Funcions de proximitat

*aplicació a una seqüència d'elements de llargària p



2

Mètodes de modelatge

- Funcions de proximitat

*exemple d'aplicació: $m = 0$ i $p=4$

$m = 0 = 0000$, doncs la funció és f_0

i la taula és la següent: $m_3 = 0, m_2 = 0, m_1 = 0, m_0 = 0$

\otimes	0	1
0	0	0
1	0	0

En el cas $p = 4$,

si $x = (x_3 x_2 x_1 x_0) = (1101)$

$f_0(x) = f_0(1101) = 0001$

f_0

						0	0	→							0	0	p=2
						0	1	→							0	1	
						1	0	→							<u>0</u>	0	
						1	1	→							<u>0</u>	1	

Seqüència d'entrada
de llargària $p=2$

Seqüència d'eixida
de llargària $p=2$

El terme subratllat en negreta és el que canvia

f_0

					0	0						0	0	0	p=2	p=3
					0	1						0	0	1		
					1	0						0	<u>0</u>	0		
					1	1						0	<u>0</u>	1		
				1	0	0						<u>0</u>	0	0		
				1	0	1						<u>0</u>	0	1		
				1	1	0						<u>0</u>	<u>0</u>	0		
				1	1	1						<u>0</u>	<u>0</u>	1		

Seqüència d'entrada
de llargària $p=3$

Seqüència d'eixida
de llargària $p=3$

Els termes enquadrats en roig resulten de considerar que el tercer bit (indefinit) és 0

f_0

					0	0				<u>0</u>	<u>0</u>	0	0	p=2	p=3	p=4
					0	1				<u>0</u>	<u>0</u>	0	1			
					1	0				<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	0			
					1	1				<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	1			
				1	0	0				<u>0</u>	<u>0</u>	0	0			
				1	0	1				<u>0</u>	<u>0</u>	0	1			
				1	1	0				<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	0			
				1	1	1				<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	1			
			1	0	0	0				<u>0</u>	0	0	0			
			1	0	0	1				<u>0</u>	0	0	1			
			1	0	1	0				<u>0</u>	0	0	0			
			1	0	1	1				<u>0</u>	0	0	1			
			1	1	0	0				<u>0</u>	<u>0</u>	0	0			
			1	1	0	1				<u>0</u>	<u>0</u>	0	1			
			1	1	1	0				<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	0			
			1	1	1	1				<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	1			

2

Mètodes de modelatge

- Aplicacions
- ✓ *Estigmèrgia dels sistemes socials*
- ✓ *Generació de comportament emergent*

2

Mètodes de modelatge

✓ *Estigmèrgia dels sistemes socials*

Definició:

- les parts d'un sistema tenen **comunicació indirecta** entre si, mitjançant la **modificació de l'entorn que comparteixen**.
- Les traces que deixen les parts (agents) en l'entorn són interpretades i actualitzades per altres agents (o potser pels mateixos).
- Aquestes accions creen patrons de comportament coherent, aparentment intel·ligent.
- La comunicació no necessita cap control .
- Exemples:
 - cèl·lules en un organisme pluricel·lular -----teixit connectiu
 - colònies d'insectes -----feromones
 - computadores en la Internet-----bases de dades

2

Mètodes de modelatge

- Interpretació: Comunicació social

❖ **Interpretació del missatge d'entrada:**

modificació:

“00” passa a “01”

“11” passa a “10”

.....etc)

❖ **Comportament següent generat per la interpretació:**

propagació, general o endavant, de missatges elementals:

“0”, “1”, M, M' i S

M = última informació elemental de la seqüència

M' = complement de l'última informació elemental de la seqüència

S = valor inicial

2

Mètodes de modelatge

Exemples:

f_0 : propagació general del missatge elemental “0”

f_6 : modificació dels missatges: (“11” a “01”; “01” a “11”) i propagació endavant de M

f_{10} : modificació dels missatges: (“00” a “11”; “11” a “01”) i propagació endavant de M’

f_{12} : modificació dels missatges: (“00” a “10”; “10” a “00”; “11” a “01”; “01” a “11”) i propagació endavant de “1”

	Modificació del missatge				Propagació del missatge elemental										
					general					endavant					
	00	10	11	01	'	“1”	“0”	M	M'	S	“1”	“0”	M	M'	S
	a	a	a	a											
	10	00	01	11	'										
<i>f0</i>							X								
<i>f1</i>						Quan la seqüència d'entrada és “111....1”					X				
							X	Per a qualsevol altra seqüència							
<i>f2</i>			X									X			
<i>f3</i>												X			
<i>f4</i>		X	X	X									X		
<i>f5</i>									X						
<i>f6</i>			X	X									X		
<i>f7</i>				X							X				
<i>f8</i>	X	X	X												X
<i>f9</i>	X	X													X
<i>f10</i>	X		X												X
<i>f11</i>	X														X
<i>f12</i>	X	X	X	X							X				
<i>f13</i>	X	X		X							X				
<i>f14</i>	X		X	X							X				
<i>f15</i>	X			X							X				

2

Mètodes de modelatge

✓ *Generació de comportament emergent*

❖ *Aplicació de primitives*

Passar les seqüències a notació decimal

Per passar de la seqüència p a la $p+1$, s'apliquen les primitives M , S

M = manté el valor anterior

S = suma 2^{p-1} al valor anterior

❖ *Combinació de grups de primitives: emergència de comportaments*

- Còpia
- Translació
- Potenciació
- Suavitzat

2

Exemple amb f_7

\otimes	0	1
0	0	1
1	1	1

$p = 1$: 0 1

$p = 2$: 0 3 2 3

$p = 3$: 0 7 6 7 4 7 6 7

$p = 4$: 0 15 14 15 12 15 14 15 8 15 14 15 12
15 14 15

$p = 5$: 0 31 30 31 28 31 30 31 24 31 30 31 28
31 30 31 16 31 30 31 28 31 30 31 24 31 30 31
28 31 30 31

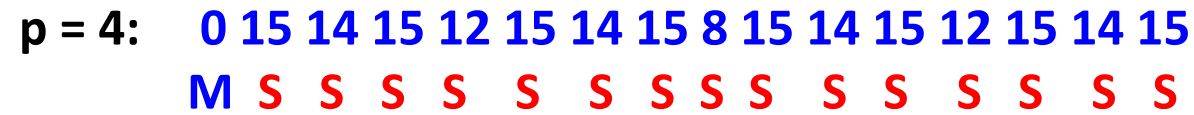
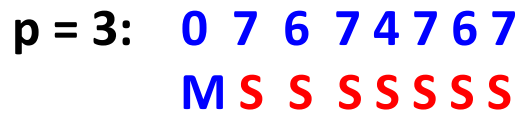
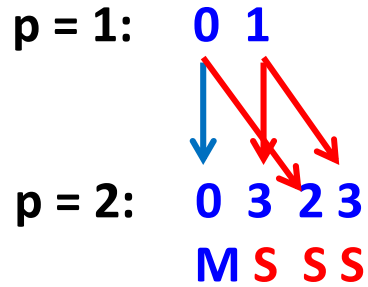
.....

$p=1$	$f_7(0) = 0$	0
	$f_7(1) = 1$	1
$p=2$	$f_7(00) = 00$	0
	$f_7(01) = 11$	3
	$f_7(10) = 10$	2
	$f_7(11) = 11$	3
$p=3$	$f_7(000) = 000$	0
	$f_7(001) = 111$	7
	$f_7(010) = 110$	6
	$f_7(011) = 111$	7
	$f_7(100) = 100$	4
	$f_7(101) = 111$	7
	$f_7(110) = 110$	6
	$f_7(111) = 111$	7

.....

2

\otimes	0	1
0	0	1
1	1	1



Per passar de la seqüència p a la p+1, s'apliquen les primitives M, S

M = manté el valor anterior

S = suma 2^{p-1} al valor anterior



2

Exemple amb f_2

\otimes	0	1
0	0	0
1	1	0

p = 1: 0 1

p = 2: 0 1 2 1
MMSM

p = 3: 0 1 2 1 4 5 2 5
MMMSMSS

p = 4: 0 1 2 1 4 5 2 5 8 9 10 9 4 5 10 5
MMMMMSSSSMMM

.....

Per passar de la seqüència p a la p+1, s'apliquen les primitives M, S

M = manté el valor anterior

S = suma 2^{p-1} al valor anterior

2

Mètodes de modelatge

Aplicació de les primitives M, S	Comportament emergent
Quan la configuració és M → M ; S → M	“còpia” Manté la mateixa seqüència de valors
Quan la configuració és M → S ; S → S	“translació” Augmenten tots els valors de la seqüència en 2^{p-1}
Quan la configuració és M → M ; S → S	“potencia l'efecte previ” Manté els valors de la seqüència que prèviament es mantenen i augmenta els valors de la seqüència que prèviament s'havien augmentat
Quan la configuració és M → S ; S → M	“suavitza l'efecte previ” Manté els valors de la seqüència que prèviament s'havien augmentat i augmenta els valors de la seqüència que prèviament es mantenen

2

Mètodes de modelatge

MMSM

MMMMSSMS

MMMMMMMMSSSSMMSM

.....

$f_2 = (\text{còpia, suavitzat})$

SSSM

SSSSMMMS

SSSSSSSSMMMMSSSM

.....

$f_{14} = (\text{translació, suavitzat})$

MSSS

MSSSSSSS

MSSSSSSSSSSSSSSSSSS

.....

$f_7 = (\text{potenciació, translació})$

SMSS

MSMMSSSS

SMSSMMMMSSSSSSSS

.....

$f_{11} = (\text{suavitzat, translació})$

MSSM

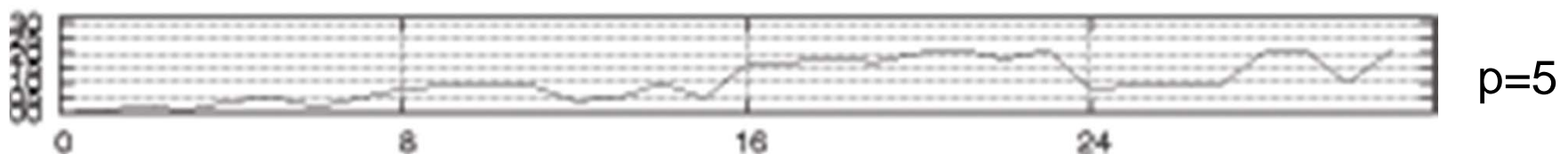
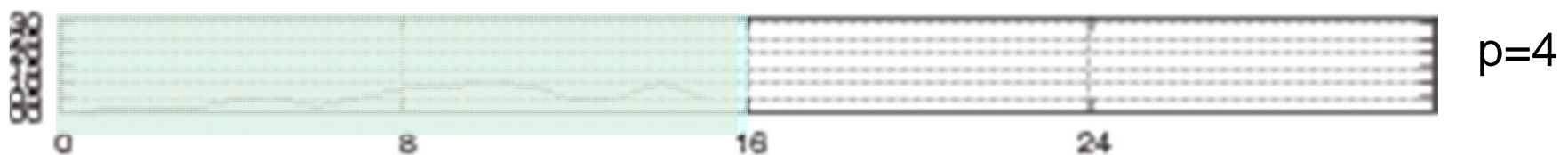
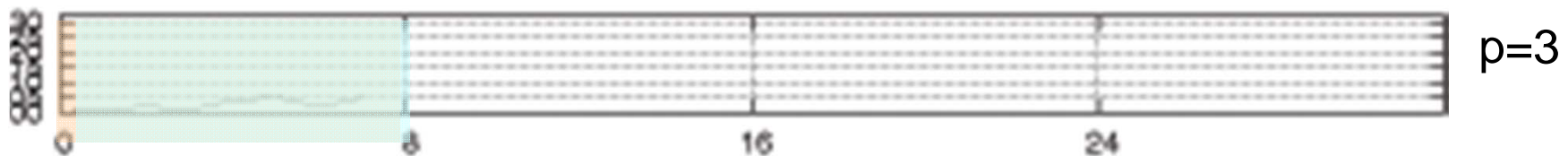
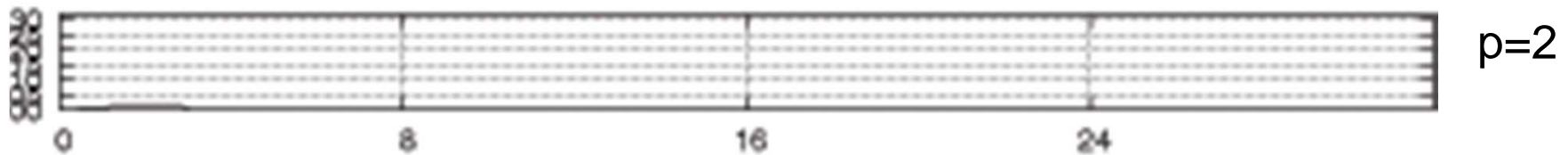
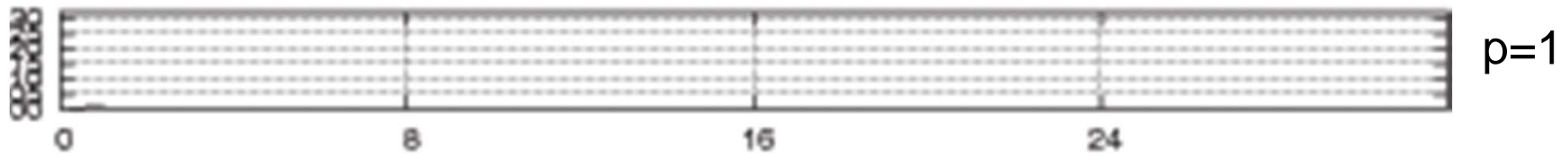
MSSMSMMS

MSSMSMMSSMMSMSSM

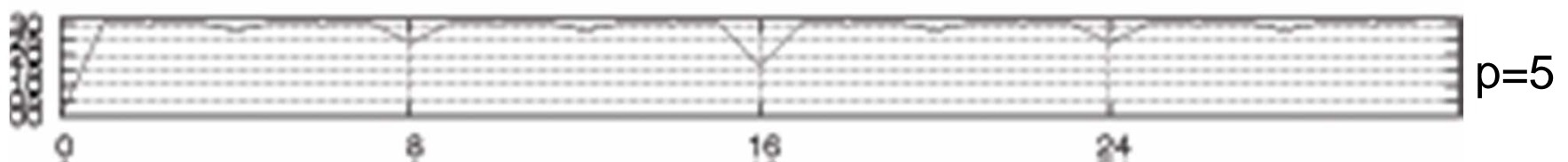
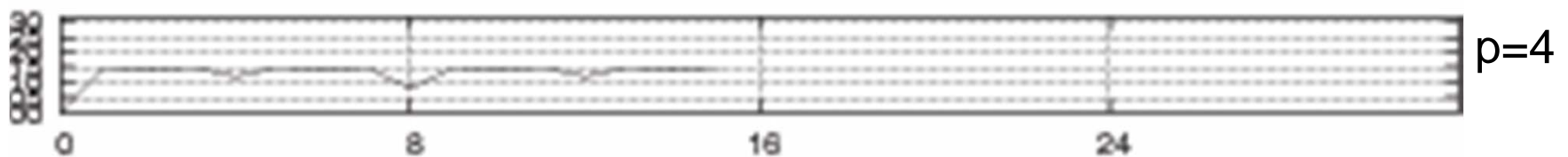
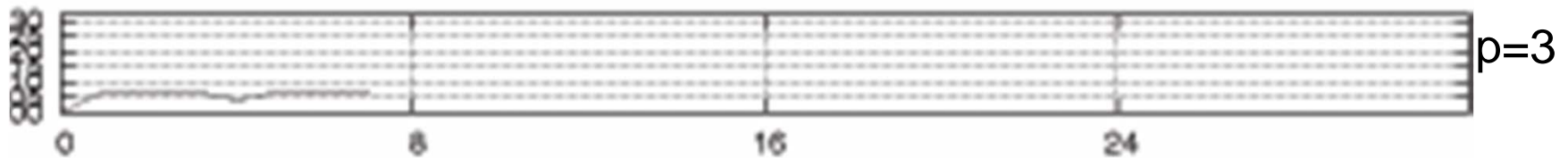
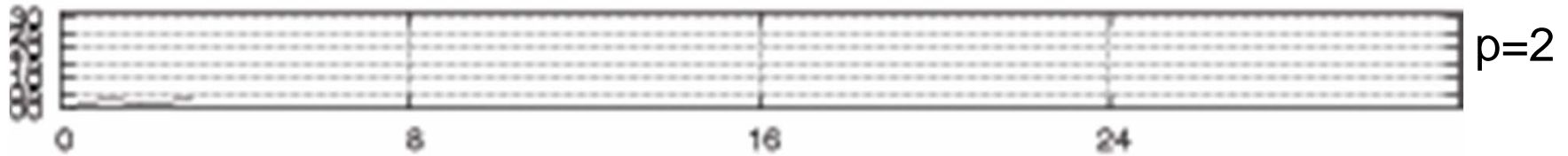
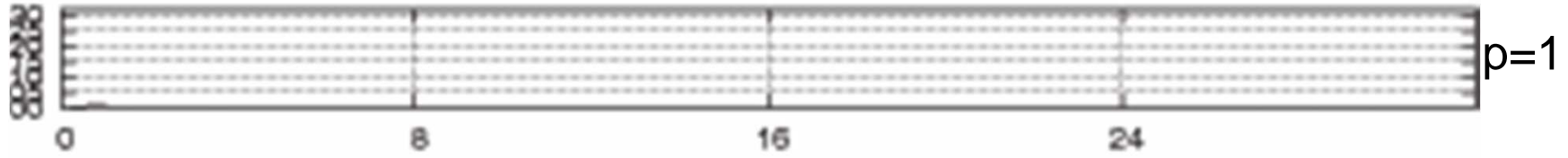
.....

$f_6 = (\text{potenciació, suavitzat})$

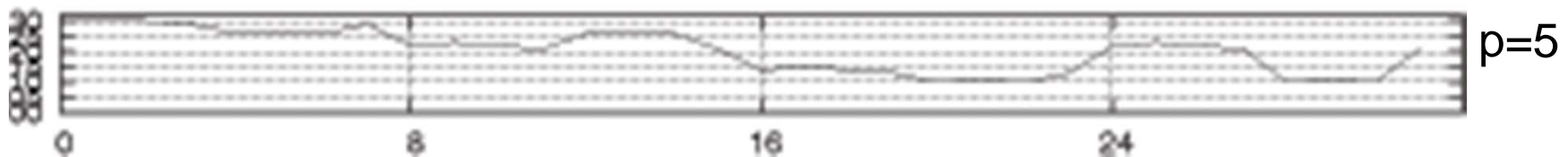
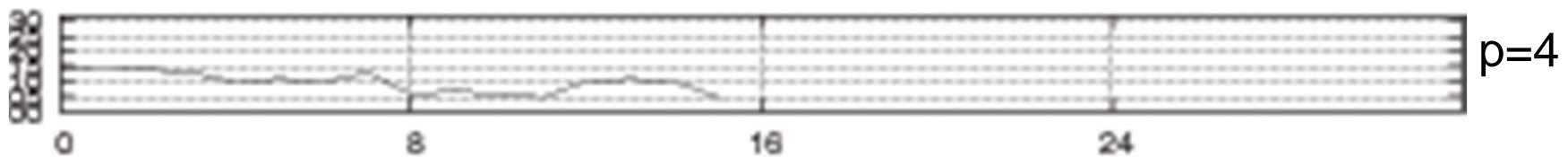
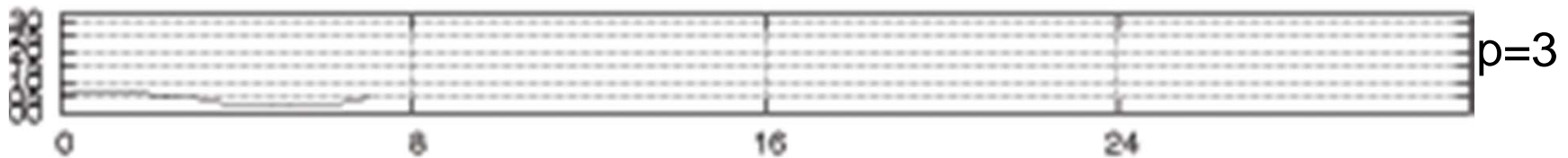
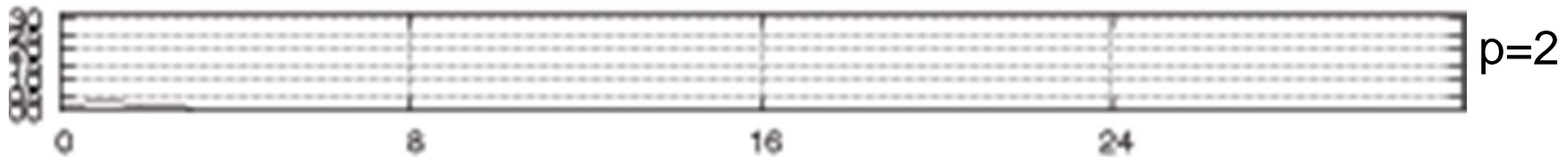
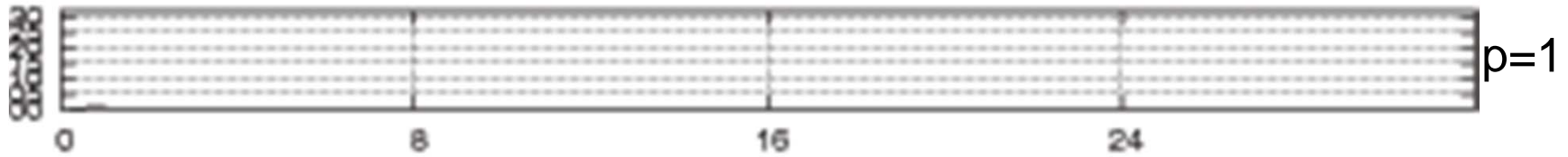
$f_2 = (\text{còpia, suavitzat})$



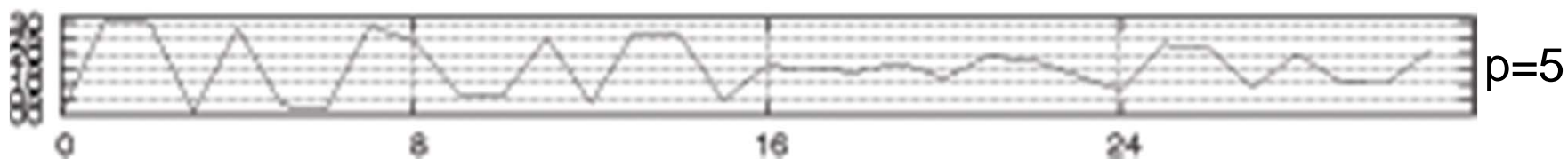
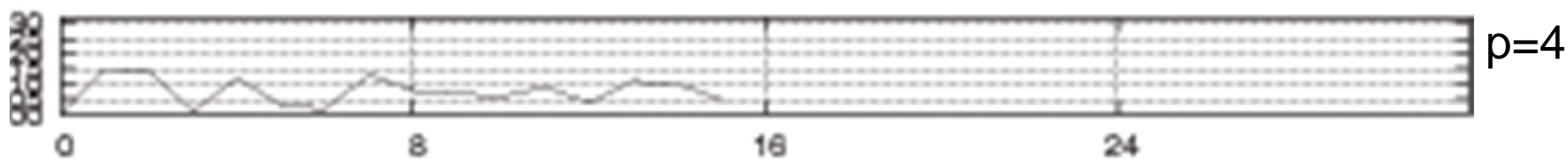
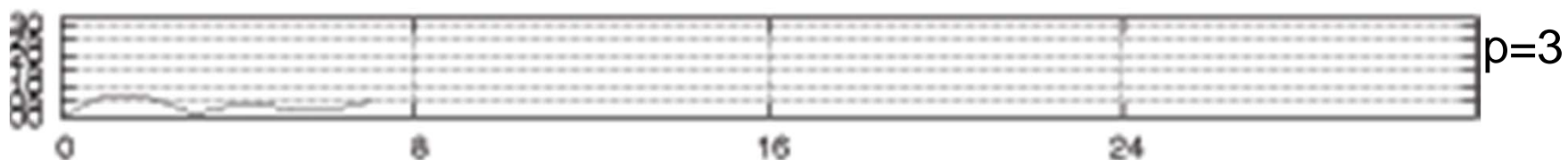
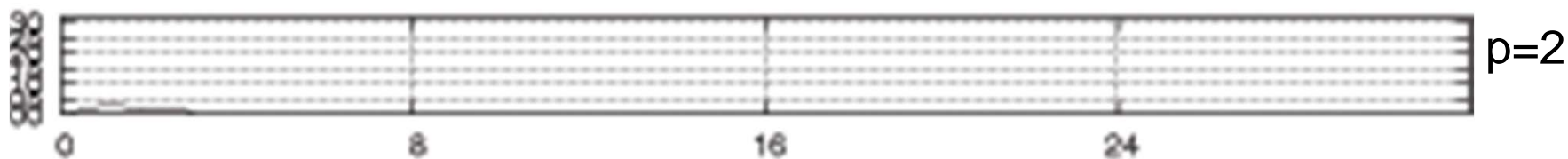
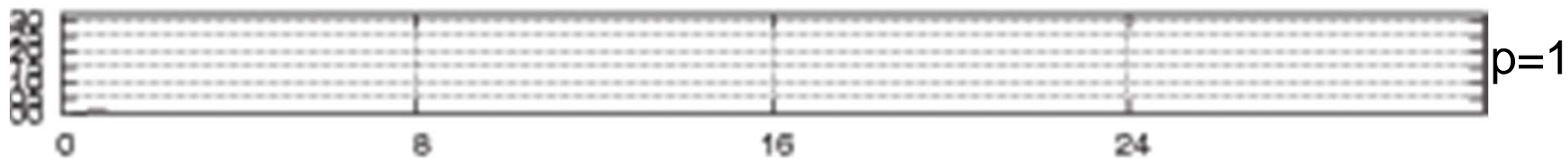
$f_7 = (\text{potenciació, translació})$



$f_{14} = (\text{translació, suavitzat})$



$f_6 = (\text{potenciació, suavitzat})$



Funció de proximitat

Aplicació a la seqüència

Comportament global emergent

⊗	0	1
0	0	0
1	1	0

MMSM
 MMMMSSMS
 MMMMMMMSSSMMSM

f₂ = (còpia, suavitzat)

.....

⊗	0	1
0	0	1
1	1	1

MSSS
 MSSSSSSS
 MSSSSSSSSSSSSSSSSSS

f₇ = (potenciació, translació)

.....

⊗	0	1
0	1	0
1	1	1

SMSS
 MSMMSSSS
 SMSSMMMMSSSSSSSS

f₁₁ = (suavitzat, translació)

.....

⊗	0	1
0	0	1
1	1	0

MSSM
 MSSMSMMS
 MSSMSMMSSMMSMSSM

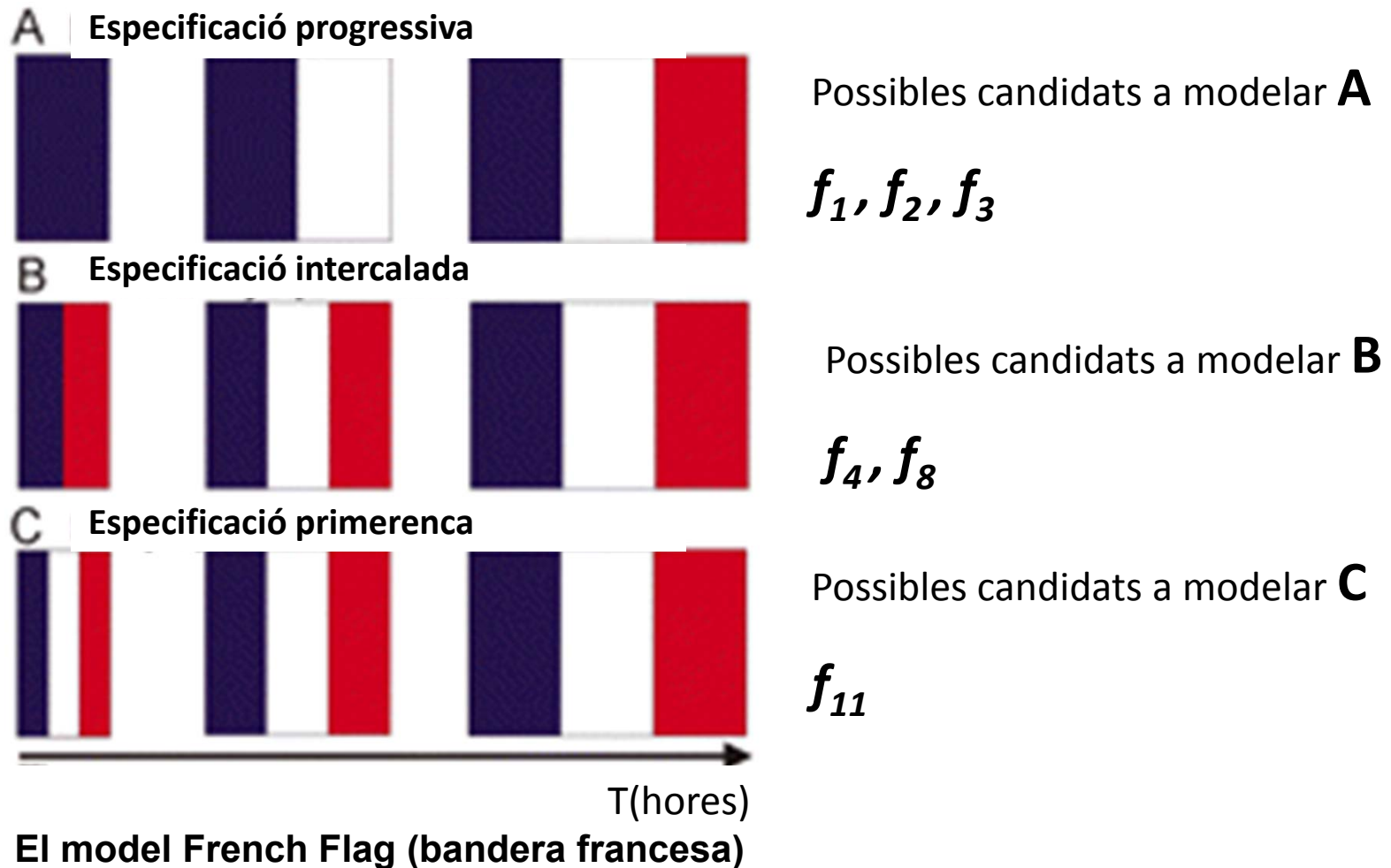
f₆ = (potenciació, suavitzat)

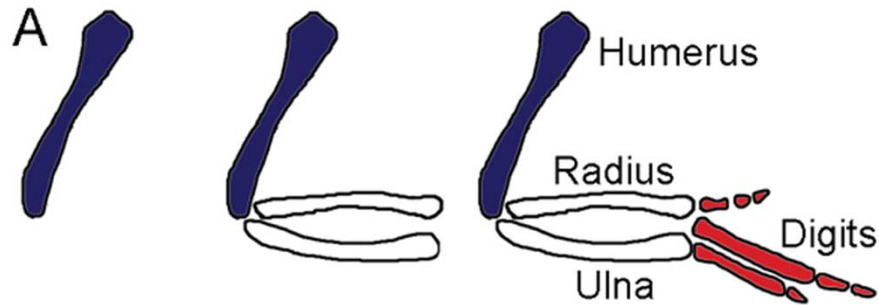
.....

2

Mètodes de modelatge

- *Modelatge del rol del creixement en el patronatge embrionari*

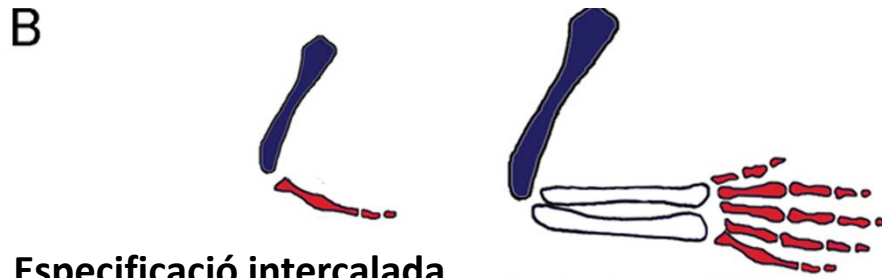




Especificació progressiva



Models de patronatge proximodistal en els membres de l'ala del pollastre



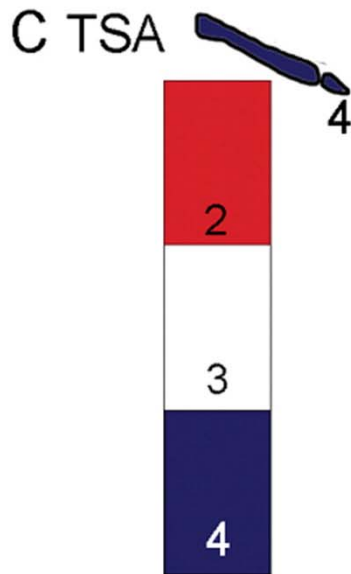
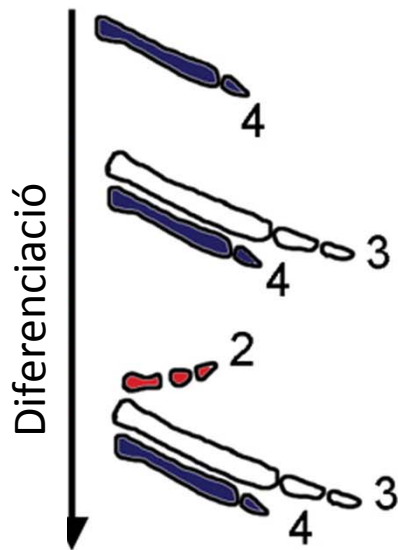
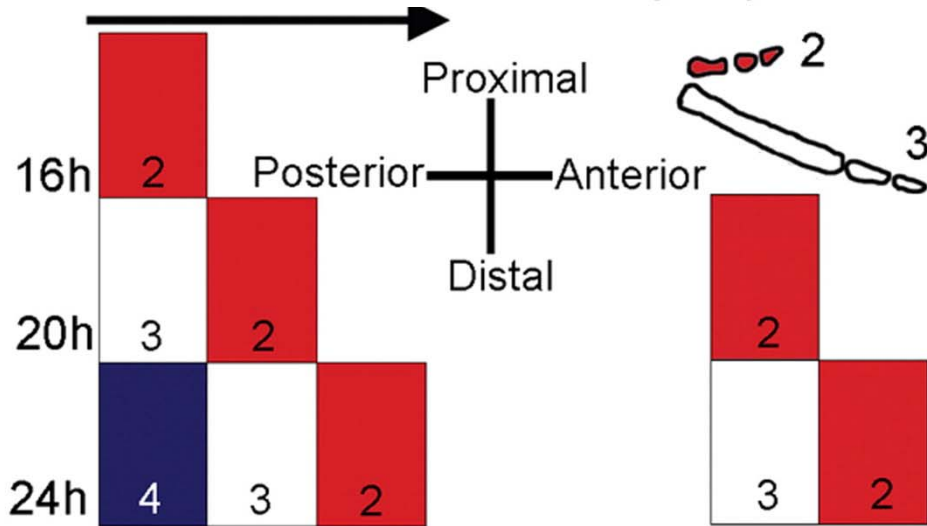
Especificació intercalada



Models de patronatge proximodistal en els membres de la pota de la rata

Towers, M. and Tickle, C. *Development*
January 15, 2009 vol. 136 nº 2,179-190

A Augment del morfogen **B** Cyclopamine



A

*Després de 16 hores, el valor posicional roig s'activa en les posicions més pròximes.

*Després de 20 hores el valor posicional blanc s'activa en posicions més llunyanes (el roig queda).

*Després de 24 hores el valor posicional blau s'activa en posicions encara més llunyanes (el roig queda).

B i C

representen modificacions a la seqüenciació natural realitzades mitjançant drogues (Ciclopamina i TSA, respectivament.)

Conclusions

Després de l'anàlisi i el resum de diverses tècniques de la computació natural, aquest treball en presenta una aproximació empírica que es basa en:

➤ Funcions recursives : La proposta consisteix a definir un conjunt de funcions amb capacitat de modelar formalment el comportament de fenòmens naturals mitjançant parametrització

Les funcions estan basades en una fórmula paramètrica que defineix un conjunt de comportaments elementals diferenciats dins dels intervals de valors dels paràmetres

L'aportació consisteix a

- definir cada comportament de forma minimal, per comprensió, associant-hi una tripleta de valors
- definir una zona de resiliència per a cada comportament

aplicacions: modelatge del comportament elèctric de les neurones, del comportament qualitatiu d'arquetips molt coneguts com també de les relacions inherents al model predador/presa.

Com a treball futur, planegem desenvolupar tècniques per a incrementar el poder de modelatge en l'aspecte quantitatiu. Poder estimar amb exactitud la resiliència d'un sistema social o ecològic té gran interès amb vista a la prevenció i planificació de problemes reals complexos.

➤ Funcions de proximitat : La proposta consisteix a definir un conjunt de regles binàries amb capacitat de modelar formalment el comportament de fenòmens naturals

Les regles s'apliquen a una seqüència binària, en què cada element actua sobre l'element que té al costat. El resultat és una seqüència binària modificada.

L'aportació consisteix a:

- modelar la informació inicial (seqüència binària inicial) i la modificada (seqüència binària modificada) per la acció d'un agent (regla binària).
- modelar la modificació de missatges i la propagació de missatges elementals.
- definir una mena de comunicació social.
- modelar comportaments macroscòpics emergents.

Aplicacions: modelatge de les traces que deixen els insectes socials en l'entorn, que condueixen a l'emergència d'una intel·ligència col·lectiva, modelatge del creixement i especificació dels membres d'alguns vertebrats.

Com a treball futur planegem millorar el model de comunicació social basat en interpretar la informació entrant i la propagació de la resposta. També volem desenvolupar formalment la composició de comportaments macroscòpics per tal de poder abordar escenaris més realistes.

Bibliografía relevante

G. Bachelard, *Essai sur la connaissance approchée (1927)* nueva. ed. Vrin, 1987

J. Bonil, N. Sanmartí, C. Tomás y R. M. Pujol *Un nuevo marco para orientar respuestas a las dinámicas sociales: el paradigma de la complejidad*, Investigación en la Escuela n.53 de la UAB (Sant Cugat 2005)

E. R. Ciurana. *Edgar Morin: Introducción al pensamiento complejo*. Universidad de Valladolid, 1997.

C. A. Coello y N. Cruz Cortés (2002) *A Parallel Implementation of an Artificial Immune System to Handle Constraints in Genetic Algorithms: Preliminary Results*. CEC'2002. New Jersey, May, vol.1, pages 819-824, 2002.

D. Dasgupta, *Artificial Immune Systems and Their Applications*. Berlin, Springer-Verlag, 1999.

A. E. Eiben y J. Smith, J. *Introduction to Evolutionary Computing*. Springer, 2003.

K. Falconer. *Fractals A very short introduction*. Oxford University Press, 2013

M. Fleischmann, D.J. Tildesley, R.C. Ball. *Fractals in the natural sciences*, Princeton University Press, 1990

L. J. Fogel y A.J.Owens. *Artificial Intelligence through Simulated Evolution*. New York: John Wiley & Sons. 1999

S. Forrest et al. *Using genetic algorithms to explore pattern recognition in the immune system*. Evolutionary Computation, 1 (3), 1993. 191-211.

A. García Serrano, *Inteligencia Artificial. Fundamentos, práctica y aplicaciones.*, Editorial RC Libros, 2012.

D. Harel, *Algorithmics: The spirit of computing*, Addison-Wesley, 1988.

Bibliografia rellevant

M. R. King. *Principles of celular engineering*. Elsevier Academic Press 2006.

J. R. Koza. *Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection*. Cambridge, MA: MIT Press. 1992.

R. Lahoz-Beltrá *Bioinformática: Simulación, Vida Artificial e Inteligencia Artificial*. Ed.Díaz de Santos, Madrid, 2004.

W. Mc Culloghs y W. Pitts. *A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity*. Bulletin of Mathematical Biophysics. N° 5, 1943, p. 115-133,

V. Maniezzo, y M.A. Dorigo. *The ant system: Optimization by a colony of cooperating agents*. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part B, 26 (1), 1996.pp. 29-41.

M. Minsky y S. Papert. *Perceptrons*. Cambrige, MIT Press,1969.

G. Ochoa. *On Genetic Algorithms and Lindenmayer Systems. Parallel Problem Solving From Nature (PPSN V)*, Lecture Notes in Computer Science 1498, (págs. 335-344). Berlin. Springer,1998.

Gh. Paun. *From cells to computers: computing with membranes (P systems)*. BioSystems, 59, (3), 2001, pp 139.158.

Gh. Paun. *Membrane Computing. An introduction*. Springer, Berlin 2002.

J. Rué y S. Xambó. *Introducció matemàtica a la computació quàntica*. Butlletí de la Societat Catalana de Matemàtiques Vol. 28, núm. 2, 2013. Pàg. 183–231.

J. Santos Reyes. *Vida artificial: realizaciones computacionales*. Universidad da Coruña, 2007.

Bibliografia relevant

J. Sampedro. *La vida artificial ya está aquí*. EL PAÍS, 28 de marzo de 2014.

M.T. Signes Pont et al. *Parametric Architecture for Modeling Neuronal Systems*. PDP 2008, (Toulouse) pp 463-469

M.T. Signes Pont et al. *Computational framework for behavioural modelling of neural subsystems*. Neurocomputing 72(7-9): pp.1656-1667 (2009)

M.T. Signes Pont et al. *A computational framework based on behavioural modelling: Application to the matching of electrocardiogram (ECG) recordings*. Mathematical and Computer Modelling 54(7-8), pp.1644-1649 (2011)

M.T. Signes Pont et al. *An Approach to Computations in Living Tissues Based on Logic Functions*, work-in-progress, PDP 2012, (Munich).

M.T. Signes Pont et al. *Resilience Modeling by Means of a Set of Recursive Functions*. 43rd Annual IEEE/IFIP Conference on Dependable Systems and Networks Workshop (Budapest), June 2013

M. Van C. et al. *Cell Mechanics and Cellular Engineering*. Springer, New York, 2011

S. Wolfram, *A New Kind of Science*. Wolfram Media, Inc., 2002.