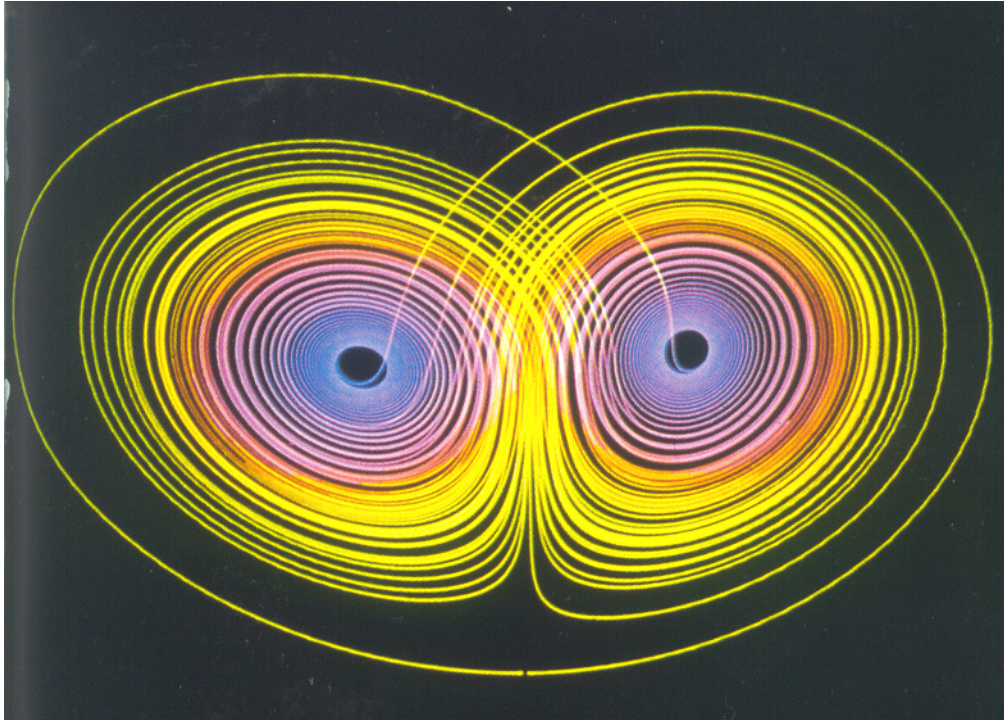




Estudis sobre la teoria del caos

Joan Campàs Montaner



0. La metàfora de la teoria del caos

La natura utilitza el caos per a crear noves entitats, conformar esdeveniments i mantenir la cohesió de l'Univers.

Què és el caos?

<http://order.ph.utexas.edu/chaos/>

http://antroposmoderno.com/antro-articulo.php?id_articulo=152

- és una realitat més subtil que la idea d'una confusió esdevinguda a l'atzar
- el terme científic “**caos**” es refereix a una **interconnexió subjacent que es manifesta en esdeveniments aparentment aleatoris**

La ciència del caos es centra en els models ocults, en els matisos i en les regles sobre com el que és imprevisible condueix al que és nou.

- és un intent per entendre els moviments que creen les tempestes, les riades, els huracans, les cingleres, els litorals rocosos i models complexos de tot tipus

El caos és, al mateix temps, mort i naixement, destrucció i creació.

Ex. la col·lisió de dues galàxies: dins de l'anella exterior de gasos neixen milions de noves estrelles i es desenvolupen moltes classes d'ordres estables (com les òrbites dels sistemes planetaris)

El caos és estable i sempre canviant. El desordre aparent emmascara un model subjacent

Ex. un salt d'aigua: la turbulència de l'aigua genera formes complexes que es renoven constantment. Nosaltres som la “mateixa” persona que fa deu anys i, alhora, som una “nova” persona.

A més, el riu forma una unitat inextricable amb d'altres ecosistemes amb els que està connectat. També nosaltres estem interconnectats amb els sistemes de la naturalesa, de la societat i del pensament que ens envolten i flueixen a través de nosaltres.

Existeix un ordre ocult dins del caos.

Ex. els vehicles d'una autopista interactuen uns amb altres creant zones de col·lapse, aturades sobtades i repeses de la marxa (l'efecte acordió). Vist des de l'helicòpter, hom pot veure patrons ben definits.

El caos –i el seu ordre paradoxal- jeu amagat fins i tot dins dels confins de la pura lògica matemàtica.

Ex. les construccions matemàtiques de Benoît Mandelbrot

La ciència "tradicional" veu el món en termes d'anàlisi, quantificació, simetries i mecanismes. El caos ens allibera d'aquestes limitacions.

La teoria del caos està deixant de ser una teoria científica per esdevenir una metàfora cultural (que ens anima a qüestionar algunes de les nostres creences i ens incita a formular noves preguntes sobre la realitat).

La idea del caos afavoreix noves maneres de pensar i de viure la realitat i, al mateix temps, el caos com a metàfora porta implícita una humilitat que les teories anteriors no posseïen. **Té molt més a veure amb el que no podem saber que amb la certesa i els fets pròpiament.**

Tres temes són subjacents al caos: el control, la creativitat i la subtileza.

- **el control. La condició de qualsevol vida és la incertesa i la contingència.** Les cultures primitives s'enfrontaven a la incertesa a través de diàlegs rituals amb els déus i amb les forces invisibles de la natura. La societat industrial somnia amb la possibilitat d'eliminar la incertesa a través de la conquesta i el control de la naturalesa. L'ideal és "tenir el control" (el zapping no és una addicció a aquest ideal?)

► Ilegim a la novel·la Ishmael de Daniel Quinn (Bantam, Nova York, 1992, pàg. 80):
"sólo una cosa puede salvarnos. Tenemos que incrementar nuestro dominio del mundo. Todo el daño [medioambiental] se ha producido a causa de nuestra conquista del mundo, pero tenemos que proseguir hasta que nuestro dominio sea absoluto. Entonces, cuando tengamos el control absoluto, todo será maravilloso. Dispondremos de la energía por fusión. No tendremos contaminación. Dispondremos de lluvia según nuestras necesidades. Haremos crecer montones de trigo en un centímetro cuadrado. Convertiremos los océanos en granjas. Controlaremos el tiempo atmosférico: se acabarán los huracanes, los tornados, las heladas imprevistas, las sequías... Todos los procesos vitales del planeta estarán donde deben estar: en nuestras manos, donde los dioses quisieron que estuvieran."

La teoria del caos demostra que aquesta idea de control és una il·lusió: els sistemes caòtics no es deixen predir, manipular ni controlar. El caos suggereix que cal acceptar les incerteses de la vida

- **la creativitat.** Pintors, poetes i músics saben que la creativitat emergeix quan estan immersos en el caos. No es tracta de controlar la naturalesa sinó de participar-hi creativament (és quan el literat es deixa portar pel seu personatge, o el pintor pels seus pinzells...)

- per viure de forma creativa cal prestar atenció als **matisos subtils i als diferents ordres irregulars que ens envolten.** La teoria del caos ens ensenya que, més enllà dels nostres intents per controlar i definir la realitat, s'estén el molt ric, i potser infinit, regne de la subtileza i l'ambigüitat; ens mostra com de petites i insignificants poden

acabar sent les coses si s'assumeix un paper principal en la manera en que aquestes es produeixen

A les mitologies antigues, el **caos és el centre de la creació** de l'Univers (a Egipte, el déu sol, Ra, emergeix del caos de la inundació Nun; a Xina, la llum s'escapa del caos per a construir el cel; segons Hesíode, "El Caos fou la primera de totes les coses". El pallaso, el **transgressor o el transformista són personificacions del caos en les cultures** de tot el món; però al **transgressor se l'identifica també amb el portador de la cultura, el creador de l'ordre**. El transgressor desafia la convenció, subverteix el sistema, trenca l'estructura de poder i pareix noves idees. No és aquesta la funció de Prometeu?



1. Ser creatiu

Llei del vòrtex

Molta gent pensa que la creativitat és un do, un talent especial reservat a uns quants. Irònicament, admirem les creacions dels autors i, alhora, ens pensem que estan una mica bojós. Creativitat i bogeria es donen de la mà: encaixa amb la idea que la creativitat és "anormal".

Per una banda, pensem que el creador exerceix un control sobre la seva obra (típica pregunta del professor de literatura: "Què ha volgut dir aquí el poeta?"); per una altra, defensem la idea que la creativitat és essencialment inspiració i que els creadors no tenen un control sobre ella. A més, apliquem el mot creativitat només en relació a la música, el cinema, el teatre, les matemàtiques superiors..., però no a activitats com ara observar la naturalesa, recordar un somni, parlar amb algú, veure una tela...

Finalment, hom accepta que l'objectiu primordial dels creadors es fer una cosa nova.

La teoria del caos ens planteja una altra idea de la creativitat: **com crea la naturalesa?**

Conceptes clau

[complexitat, aleatorietat, impredibilitat, autoorganització, punt de bifurcació, vòrtex, retroalimentació, graus de llibertat, creativitat, no linealitat, interconnexió, interactivitat...]

La teoria del caos representa la natura en la seva creativitat, abastant un ampli camp de conductes (des dels models meteorològics del temps i les cascades, fins els trets neuronals i les caigudes de la borsa). Té, doncs, a veure amb la manera en què la naturalesa crea noves formes i estructures, i amb la impredibilitat i la "confusió" de la natura.

Ex. de sistema caòtic: un riu. Canvis en el cabal segons les estacions, una part del riu flueix més ràpida que una altra: cada part actua com un efecte pertorbador sobre les altres parts, i els efectes d'aquestes pertorbacions es retroalimenten constantment. El resultat final és la turbulència.

Quan el corrent ràpid del riu s'apropa a una roca, es forma un remolí; darrere la roca neix un vòrtex i es manté com una forma molt estable; sense turbulència no hi ha vòrtex. El riu mostra totes les característiques del caos: la seva conducta, molt complexa, inclou els corrents aleatoris i imprevisibles, els remolins i els vòrtexs estables.

Els teòrics de la complexitat parlen d'"autoorganització del caos" o bé d'"ordre per lliure".

Com s'arriba a l'ordre que prové del caos?

Ex. l'olla amb aigua que bull. L'aigua calenta és més lleugera i puja; la freda és més pesada i baixa: és un sistema que està exercitant els seus màxims "graus de llibertat" (és a dir, l'aigua bull)

Què són els "**graus de llibertat**"? El conjunt de conductes possibles a seguir. Cal pensar en els dubtes i les incerteses per a ampliar els graus de llibertat.

Ex. si en una orquestra, cada músic afinés l'instrument com li semblés i toqués una melodia diferent en clau i tempo diferent (el resultat = a l'olla bullint)

Però s'ha descobert que si l'aigua s'escalfa per sota del punt d'ebullició, l'aigua s'autoordena en un model de vòrtexs geomètrics. Per tal que això s'esdevingui primer ha d'assolir-se un **punt de bifurcació** (un punt de sortida)

Ex. a la màquina el milió, quan la bola surt del passadís d'arrancada, toca un pern i pot ser llençada cap a la dreta o cap a l'esquerra. El pern és el punt de bifurcació en el viatge de la bola

A l'olla, el punt de bifurcació marca el moment en què una de les fluctuacions atzaroses en l'aigua resulta "amplificada" creant un **rínxol de retroalimentació**; aquest rínxol s'enllaça amb d'altres fluctuacions fins que molts rínxols de retroalimentació formen un seguit de **vòrtexs** hexagonals estables dins l'olla.

Aquest enllaç implica dues classes de retroalimentació.

- la **retroalimentació negativa**: amortigua i regula l'activitat dins d'un determinat rang. Ex. el termostat d'aire condicionat: quan la temperatura assoleix un punt, el termostat reacciona posant en marxa la unitat de refrigeració; quan la temperatura baixa, el termostat apaga la unitat
- la **retroalimentació positiva**: amplifica els efectes. Ex. quan posem un micròfon massa a prop dels altaveus: el micròfon capta els sons amplificats i els introdueix al sistema i es converteix en una estridència. Un sistema dominat per rínxols de retroalimentació positiva és turbulent i desordenat

Quan els rínxols de retroalimentació positiva i negativa s'acoblen, poden crear un nou equilibri dinàmic; un punt de bifurcació on l'activitat caòtica sobtadament es diversifica dins d'un ordre.

Ex. en l'aigua bullint, en el punt de bifurcació, els vòrtexs cel·lulars es formen amb el líquid calent ascendent a través del centre i el líquid fred descendent per la part exterior (un gran vòrtex de retroalimentació negativa). Quan un vòrtex col·lisiona amb un altre, es crea una paret de cel·les hexagonals que flueixen entre les cascades descendents de l'aigua més freda.

Els sistemes autoorganitzats creen la seva estructura en abandonar alguns dels graus de llibertat que haguessin pogut tenir.

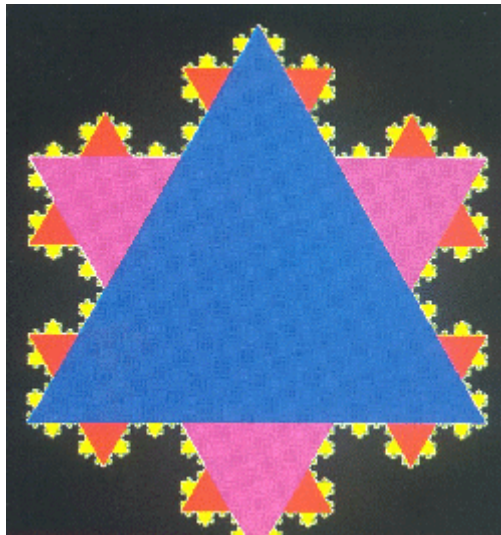
Els sistemes que s'autoorganitzen fora del caos només sobreviuen si estan oberts a un constant flux d'energia i material

Ex. els vòrtex dels rius sorgeixen dels remolins de les turbulències produïdes pels obstacles que s'oposen a un corrent profund i ràpid; cada vòrtex té una forma definida però està compost pel material que el travessa [nosaltres també estem formats del material que flueix a través nostre: la nostra forma està creada i mantinguda pel flux del que som part: som el que mengem, el que respirem, el que experimentem...]. Així potser es va formar la molècula de DNA...

Exemples de caos autoorganitzat: les dunes del desert, els camps de neu i les capes de núvols (resultats dels vòrtexs d'aire calent organitzats caòticament que pugen cap a l'atmosfera), l'estol d'orenetes quan "dansen" abans de la migració (ex. damunt la plaça Catalunya de Barcelona) [els models fets per ordinador mostren que l'intent de cada ocell per mantenir les distàncies mínimes i màximes cap els altres genera unes rutes de vol que contenen rínxols retroalimentadors d'atracció i repulsió: l'equilibri entre la retroalimentació positiva i la negativa permet que el conjunt d'ocells sembli un únic organisme.

El caos és, doncs, la creativitat en la naturalesa.

[nosaltres estem envaïts per sistemes caòtics oberts que permeten una resposta creativa constant als canvis ambientals. Ex. el nostre cervell s'autoorganitza en canviar la seva subtil capacitat de connexió amb cada acte de percepció.]



Creació del vòrtex 1: la turbulència

Quan la vida està subjecta a canvis ens podem obrir a les incerteses i accedir a graus de llibertat més grans que poden estimular que es produeixi una nova autoorganització. Ex. hi ha moments a la vida (la mort d'un ésser estimat, un divorci...) que ens deparen un sentit de la veritat més profund i un nou camí en la vida. També en moltes cultures hi ha místics i savis que es retiren al desert, o bé la idea que tota regeneració implica primer un descens al propi infern (cfr. El mural romànic de Santa Margarida). D'altres formes: les experiències al·lucinatòries, la psicoanàlisi... **Només abandonant les estructures reconegudes és possible una autoreorganització creativa.**

Creació del vòrtex 2: bifurcació i amplificació

Les persones creatives tenen una actitud diferent sobre els errors, les oportunitats i els fracassos. Una taca en un quadre, un error en un experiment poden crear un punt de bifurcació, un moment de veritat que amplia i dona lloc a l'autoorganització del treball. No s'han de veure els errors com a respostes errònies i motius de vergonya.

Hi ha moments de clara intuïció en els que veiem o sentim alguna cosa que pot estar mancada de sentit o ser trivial per a qualsevol altre, però que sembla posar en moviment dins de nosaltres un canvi de perspectiva per apoderar-nos de la veritat del que apercebem y de l'autenticitat de la nostra experiència de la vida

Ex. els moments de "conversió" (cfr. Caravaggio: sant Pau) o el moments (?) dels existencialistes, o el cas de Ch. Darwin i el seu viatge en el Beagle i la imatge de l'"arbre de la vida"

Creació del vòrtex 3: el flux obert

Els moments de flux creatiu són la recompensa pel descens previ al caos, la incertesa, la incomoditat.

La idea de l'obertura caòtica ha estat associada amb la creativitat autoorganitzada
Ex. per als artistes, cap obra està acabada mai del tot; la tribu dels peus negres deixa sempre un espai per a una persona nova que vulgui entrar en el cercle on es prenen les decisions; un grup de monjos budistes feia una pintura de sorra en un espai públic de Filadelfia, i en acabar-la una dona que havia vist tot el procés, la va desfer a puntades; tothom va quedar astorat, en canvi els monjos ho varen saludar amb alegria ja que els donava l'oportunitat de tornar a començar (fou una puntada del caos per a provocar un altre autoordenament)

La paradoxa de la individualitat

Un vòrtex és una entitat individual i diferenciada, i tanmateix, és inseparable del riu que l'ha creat.

En un vòrtex, una paret de cel·les en constant flux separa l'interior de l'exterior. La paret en sí és, al mateix temps, el que és intern i extern

La paradoxa és: l'individual és al mateix temps l'universal

La creativitat és també el que s'esdevé en els nostres petits o grans moments d'empatia i transformació, els moments en els que entrem en contacte amb la nostra autèntica experiència individual, i per tant universal, de la veritat.

No utilitzem tant l'intel·lecte creatiu en l'art o la ciència, sinó en els actes espontanis del dia a dia que permeten mantenir la cohesió social [N.K. Humphrey, "The Social Function of Intellect", a *Growing points in Ethology*, editat per P.G. Bateson i R.A. Inde, Cambridge University Press, 1976, pàg. 312]

Perdem la creativitat per la nostra obsessió pel poder i el control; per la por als errors; pel ferri control dels nostres egos; pel fetitxe de la comoditat; per la nostra continua persecució del plaer reiteratiu o simplement estimulants...

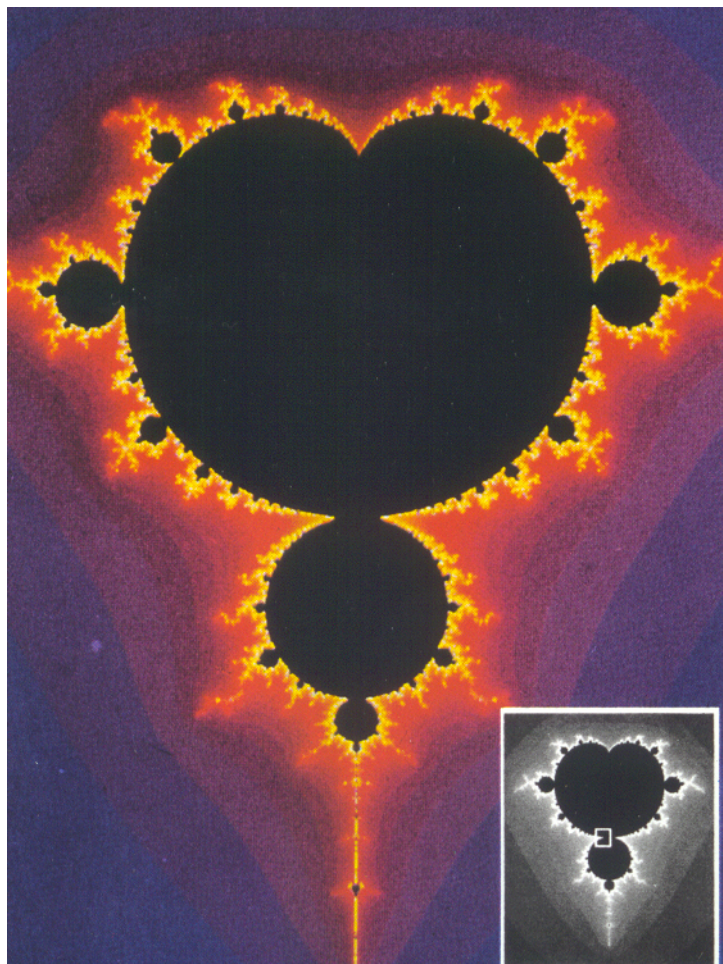
La teoria del caos ens ensenya que quan la nostra perspectiva psicològica canvia –mitjançant els moments d'amplificació i bifurcació–, els nostres graus de llibertat s'expandeixen i experimentem la veritat i l'ésser: aleshores som creatius, i allí es revela el nostre veritable jo.

El "jo", únic centre de la realitat segons els postmoderns, és una construcció social –un seguit de categories, noms, descripcions, màscares, esdeveniments i experiències–, una complexa successió d'abstraccions que canvien continuament.

David Shainberg [The Transforming Self, Nova York, Intercontinental Medical Books. 1973] sosté que els trastorns mentals que se'ns mostren com una realitat caòtica, són, de fet, el contrari. Els trastorns mentals apareixen quan les imatges del jo esdevenen rígides i tancades, limitant una resposta al món oberta i creativa.

Quan l'aigua s'obre camí a través del paisatge i autoorganitza el sinuós curs del rierol, utilitza els materials disponibles –roques, arbres, terra- per a crear el seu model. **La clau per a l'activitat creativa resideix en l'autoorganització dels materials disponibles.** Per als humans això significa que hem de crear amb el material de les nostres pròpies vides. Com l'aigua, sempre podem trobar un camí per a ser creatius amb el que hi hagi de disponible. Només quan hi ha una gran incertesa es produeix una pregona apreciació creativa de la vida [Jiddu, Krishnamurti, del 26 de setembre de 1948, Poona, India], però aquesta incertesa està present en cada moment de les nostres vides.

La creativitat implica, sovint, introduir el caos en l'ordre per a redescobrir alguna cosa vella o recuperar la frescor del que és quotidià. Quan entrem en la turbulència vital de la vida ens adonem que, en el fons, tot és sempre nou.



2. L'efecte papallona

http://fr.wikipedia.org/wiki/Effet_papillon
http://es.wikipedia.org/wiki/Efecto_mariposa

Llei de la influència subtil

Segons un proverbi xinès, el poder de les ales d'una papallona pot apercebre's a l'altra banda del món

Com la idea del caos es planteja el tema del poder?

L'amplificació del que és petit

La intuïció científica sobre l'efecte papallona prové dels treballs d'Edward Lorenz, un meteoròleg considerat un dels creadors de la teoria del caos.

Ex. estava provant un model simple de predicció atmosfèrica que interrelacionava la velocitat del vent, la pressió de l'aire i la temperatura; inseria les dades en tres equacions, de manera que els resultats d'una equació eren introduïts en els altres com a dades sense processar, i es repetia el procés. Es va construir un rínxol retroalimentador matemàtic. En no disposar d'ordinadors potents, va fer servir només tres decimals dels sis inicials; esperava un error d'un 1/10 %. Però la nova predicció atmosfèrica poc a veure tenia amb la que havia fet amb 6 decimals: **la petita diferència inicial fou ampliada per la retroalimentació i convertida en gran diferència.**

Els **sistemes lineals** canvien molt suaument amb l'aplicació de petites influències.

Ex. si premem suaument l'accelerador del cotxe, aquest augmenta de velocitat suaument

En els **sistemes no lineals** petites influències poden actuar d'una manera tal que transformin tot el sistema.

Ex. si premem a fons l'accelerador, el cotxe surt disparat i ens llença cap enrere

El temps atmosfèric és un sistema caòtic ple de retroalimentació reiterada –és, per tant, no lineal- i per això és increïblement sensible a les petites influències.

“Provoca l'aleteig d'una papallona al Brasil un tornado a Texas?”

Edward Lorenz (1995), *La esencia del caos*. Madrid. Debate. Pàg. 14 [l'original és de 1993]

Explicació:

- el temps atmosfèric és la fluctuació temporal que es produeix dins del sistema autoorganitzat del clima
- durant llargs períodes de temps, el clima roman constant i el temps reproduceix en promig el model climàtic
- però observant el temps del dia a dia veiem que està subjecte als efectes de l'amplificació, la bifurcació i el canvi de les seves pròpies repeticions. El temps atmosfèric crea contingències que produeixen la seva pròpia conducta variable (per què, si no, és tan difícil preveure el temps a més de tres dies?, per què, si no, és més fàcil predir el temps en grans zones que en petites àrees geogràfiques?)

En un sistema caòtic tot està connectat a tot, mitjançant la retroalimentació positiva i negativa.

Per això l'aforisme de Lorenz: potser l'aleteig d'una papallona en un punt del món està impulsant un front en una altre punt: **la retroalimentació total comença a ampliar el que és petit a l'interior del que és gran i, de repent, apareix el que és imprevisible.**

D'altres efectes papallona: un rumor que provoca la caiguda de la borsa; l'acumulació de greuges que donen peu a un motí a la presó; uns grans de pol·len que provoquen un atac de febre de fenc a algú...

La teoria del caos ens ensenya que la majoria de sistemes autoorganitzats estan lligats a innumbrables papallones de moltes varietats subtils i d'infinits colors.

El caos governa a través de l'efecte papallona.

El poder de la impotència

A les societats complexes, com una persona normal es pot sentir significativament unida a les altres i com pot sentir que influeix sobre la societat en conjunt?

Les societats exploren diferents maneres d'organitzar a un nombre més gran de persones; intenten equilibrar la necessitat d'estabilitat col·lectiva enfront de la necessitat de llibertat i creativitat en l'individu (es desenvolupa un desequilibri entre els qui tenen el poder d'influir en la societat i els qui n'estan mancats)

Ex. els !Kung del Kalahari són conscients del perill que els individus basin la seva identitat en el poder. Donar les gràcies és de mala educació.

"Quan un jove mata molta caça, es creu que és un cap o un gran home, i pensa en la resta de nosaltres com els seus servidors o inferiors. I nosaltres no podem acceptar una cosa així, refusem a qui se'n enorgulleix, ja que algun dia aquest orgull el durà a matar a algú. Així doncs, sempre parlem de la carn que porta com una cosa que no val res. D'aquesta manera es refreda el seu cor i el torna gentil"

Els líders !kung només poden persuadir, mai ordenar.

El poder ha deixat de ser una aptitud per a sobreviure en la naturalesa; ara s'ha concentrat en la idea de control, en la imposició del nostre desig individual. El nostre modern sentit del poder té els seus orígens en la Revolució industrial i en la creació de grans màquines que generaren un poder sense precedents.

"Yo vendo con esto, señor, todo lo que el mundo desea tener...poder" (Matthew Boldon, constructor de màquines de vapor, 1776)

L'obsessió pel poder ens envolta: el poder del diner, el poder de la personalitat, el poder de la ment, el poder dels ordenadors, el poder de l'organització, el poder polític, el poder de l'amor, el poder del sexe, el poder de la joventut, el poder de la religió, el poder de les armes, el poder de les relacions entre grups... S'ha inculcat la idea que només si tenim suficient poder serem lliures per a fer i ser el que vulguem. Pensem que si tenim el poder per a controlar una situació, ens sentirem més segurs. La idea de control crea una aparent distinció entre el controlador i allò que és controlat.

La veritat és que la nostra obsessió pel poder pot ser simplement el símptoma del nostre propi sentit de la impotència.

Constantment sembla que ens envolten poderoses forces impersonals i socials que moldegen el nostre destí.

Quan diem que ens sentim impotents, volem dir que no ens sentim el suficientment forts com per a lluitar contra les empreses, la burocràcia, el sistema o altres persones, o la pròpia psique. Sembla que l'única solució és aconseguir una mica de poder.

Quina resposta ens suggereix la teoria del caos?

- els sistemes complexos i caòtics no poden predir-se adequadament o controlar-se de forma exclusiva.
- els sistemes rígids tampoc poden cedir
- però existeix el vòrtex. Què s'esdevindria si actuéssim a través de la mirada de petits vòrtexs retroalimentadors que mantenen a una societat cohesionada? El caos ens diu que cada un de nosaltres té una gran però no reconeguda influència en l'existència d'aquests vòrtexs
- el caos ens suggereix que, encara que no posseïm el poder del controlador en un sentit tradicional, tots posseïm l'"efecte papallona" de la influència subtil

Què és la influència subtil?

Václav Havel, a finals dels 70, va desafiar la resposta tradicional de lluita contra el poder amb poder i va proposar un tipus d'acció radicalment nova, a la que va anomenar "el poder dels impotents"

El tractat de Havel [Václav Havel, "The power of the powerless", *Open Letters*, Vintage, Nueva York, 1992] de 1978 s'inscriu en el context del règim comunista de Txecoslovàquia. Havel sabia que no calia esperar que els poders tradicionals –un exèrcit d'alliberament o un aixecament intern- poguessin transformar una societat posttotalitària en una altra que respectés els drets humans i les llibertats individuals. I es va preguntar si existia una altra classe de poder.

Havel se'n adonà que el poder dins del seu país no es mantenia mitjançant les formes tradicionals del lideratge jeràrquic. Més aviat es mantenia viu gràcies a la connivència dels membres menys poderosos de la societat, que actuaven seguint un "automatisme". I posa com exemple el verdulaire que va posar un cartell a l'aparador de la botiga: "Treballadors del món uniu-vos". Aquest cartell, com les fruites i verdures, li va arribar de la direcció; però el verdulaire no ho exhibeix perquè tingui cap desig de dir-li al món quin és el seu ideal. Així interpreta Havel aquest missatge: "Jo, el verdulaire, visc aquí i se quin és el meu deure. Em comporto segons s'espera de mi que ho faci. Es pot confiar en mi iestic lliure de sospita. Sóc obedient i, per tant, tinc el dret que se'm deixi en pau". El cartell anuncia la subordinació del verdulaire a la dinàmica interior d'un sistema que depèn de l'acatament de tot el món. Aquesta acció és una dels milers d'interconnexions que sostenen el sistema.

Tots tenim experiència de primera mà sobre la connivència i l'automatisme.

En termes del caos, els sistemes que operen mitjançant la connivència i l'automatisme no són, òbviament, sistemes creatius oberts. Pel contrari, la seva acció està dominada per un nombre relativament petit de rinxols retroalimentadors negatius. Els petit i innumbrables rinxols –com el cartell del verdulaire- no són una expressió de graus creatius de llibertat, sinó que representen microrinxols tancats junts de tal manera que creen un gran rinxol obsessiu i repetitiu al que els científics del caos anomenen un **cicle límit**.

Els sistemes de cicle límit són aquells que s'aïllen del flux del món exterior perquè una gran part de la seva energia interna està dedicada a resistir-se al canvi i a la perpetuació relativament mecànica dels models de conducta

- per a sobreviure en sistemes tan rígids i tancats, tots han de cedir una mica –o molt- de la seva individualitat subsumint-se en un automatisme

- el que arriben al "cim" en aquests sistemes són els qui utilitzen frases buides, fórmules sense contingut que mantenen cohesionat el mecanisme de la connivència

Els cicles límit són els sistemes que ens fan sentir impotents: els volem canviar però no podem. Ex. empresa que perd clients perquè per manca de personal no pot satisfer les comandes, i ningú amb autoritat en l'empresa vol sentir parlar del tema; el sistema d'una família en la que els pares, autoculpabilitzats, li treuen les castanyes del foc del fill alcohòlic, i l'únic que aconsegueixen és incrementar el problema.

Si els sistemes repetitius i obsessionats pel poder es mantenen cohesionats amb la nostra connivència amb la retroalimentació del cicle límit, això vol dir que la nostra influència és gran.

El poder de la influència subtil

Una comunitat és una "teranyina de petites coses, aparentment sense importància: potser petites cortesies, o favors, o preocupar-se pels altres, un somriure o una salutació als altres al carrer, i totes les altres coses que la gent sol fer habitualment. Una comunitat sana és un cercle, o un cistell, que es manté unit per la confiança mútua, el respecte i la interdependència. Les empreses i organitzacions similars són piramidals o triangulars, i tenen ben definits, fins i tot de forma afilada, els límits i les jerarquies amb les seves corresponents, i rígides, relacions de poder". (Mike Patterson, del Ministeri de l'Habitatge i el Desenvolupament Urbà d'EE.UU)

Bronislaw Malinowski subratlla com el "missatge fàctic" crea una atmosfera general que manté unida a la societat. Per als indis micmac el treball diari més important de cada individu és caminar en mig de la comunitat i intercanviar xafarderies ("habladurías"): el contingut és menys important que la persona que les intercanvia.

La nostra manera de ser i d'actuar conforma el clima en el que els altres viuen, l'atmosfera que respiren (els nens responen més al que ets que al que dius; recordem més als nostres professors pel què eren que pel que ens ensenyaren). Ens sentim pregonament i subtilment afectats per com són els altres (a les parelles grans, l'estat d'ànim de l'altre membre és més important que el propi estat de salut).

La influència subtil, en un sentit negatiu –la connivència- manté cohesionats els cicles límits restrictius; però en sentit positiu és vital per a mantenir els sistemes oberts renovats i vibrants.

Com la metàfora del caos ens proporciona una nova manera de pensar la diferència entre la influència maligna i la benigna?

- el poder de la papallona és imprevisible. És difícil esbrinar els efectes a llarg termini de les nostres accions (d'aquí l'imperatiu categòric kantianista o les tradicions que ensenyen que una acció ha de basar-se en l'autenticitat del moment, ha de ser vertadera en sí mateixa i ha d'exercitar els valors de pau compassió, l'amor i l'amabilitat bàsica. El poder positiu de l'efecte papallona implica el reconeixement que cada individu és un aspecte indivisible del tot, i que cada moment caòtic del present és un mirall del caos del futur
- és difícil distingir les influències negatives de les positives; a més, el que a primera vista sembla una influència negativa, pot tornar-se positiva.
- la influència positiva només funciona de forma creativa per a mantenir el sistema obert quan es fa amb autenticitat i de bona fe. Pensem en el sistema educatiu basat en el "reforç positiu": els professors, en benefici de la influència positiva, es comportaven de manera mecànica i falsa i els estudiants acabaven menyspreant-los o bé dependents dels elogis fins el punt que un comentari neutral equivalia a un càstig).

El sistema és susceptible de ser amplificat per l'impacte de l'efecte papallona, però a qui s'ha d'atribuir l'exercici d'aquest poder? Cal adoptar una nova actitud envers el significat del poder i el de la influència.

Ex. dona maltractada que telefona a la policia per demanar ajut però que es nega a presentar denuncia; no només no demanava el divorci sinó que trobava excuses per a justificar la conducta del marit (trucar a la policia i aconseguir que relaxessin la situació formava part del sistema en el que estava entrampada). Què fa falta per a que modifiqui la seva actitud? Què pot constituir la darrera gota que fa vessar el cicle límit? És impossible saber què va produir el canvi en la percepció que tenia la dona de la seva situació: el poder positiu de l'efecte papallona va de la mà amb na necessitat d'una humilitat bàsica.

La clau per al canvi no radica tant en una acció individual com en la manera en què interactuen diferents rínxols retroalimentadors.

Ex. la nostra llibertat resideix en l'humil poder que posseïm. Durant la dominació comunista, els txecoslovacs creien que no tenien cap poder. Però com diu Havel, fins i tot en aquelles condicions, els individus trobaven la manera de comprometre's amb una creativitat individual autèntica. Havel anomenà a aquestes accions "viure en la veritat" que, segons la metàfora del caos, és el senzill procés –encara que sovint no esdevingui fàcil- d'obrir-nos a la incertesa, descobrir la frontera entre el que és individual i universal, i actuar des d'aquest descobriment. Aquest és **el poder real de la impotència**. En l'acte d'adonar-nos autènticament de la realitat del moment resideix la nostra habilitat per a influir, humilment, fins i tot en els sistemes més rígids.

Els **sistemes rígids** –els cicles límit- depenen del fet que cadascú sacrifiqui una mica de la seva creativitat quant individu per a confabular-se en ares del sistema.

Què s'esdevindria si el verdulaire es limités a enretirar el cartell del seu aparador? Havel se n'adonà que aquest acte minúscul podria originar una cascada d'altres actes. Treure el cartell significaria una amenaça pel sistema, no per cap poder físic, sinó perquè la seva acció aniria més enllà de si mateixa, perquè il·luminaria el que l'envoltava i per les conseqüències d'aquesta il·luminació. És el que varen fer molts estudiants i escriptors xecs: **exercir la seva llibertat creativa**. I el 1989 i 1990, l'impacte col·lectiu d'aquestes activitats individuals varen contribuir a autoorganitzar la "revolució de vellut" que va alliberar pacíficament Txecoslovàquia de l'estat posttotalitari.

[L'important de les accions no és la seva força, sinó el seu significat i la interacció que pot provocar en altres accions]

Cal exercir la nostra subtil influència, encara que no la veiem, ni tampoc sapiguem com ha contribuït a la creació de sistemes oberts (les conseqüències de l'efecte papallona en la societat a partir d'un sol acte individual són difícils de predir). I exercim la influència subtil quan manifestem el nostre coneixement de la veritat. I quan l'exercim, esdevenim un element imprevisible en una societat incontrolada, és a dir, esdevenim un dels transgressors de la societat.

El **transgressor** mostra la manera com la creativitat pot superar les estranyeses més poderoses. Els transgressors van més enllà dels límits del sistema i tergiversen les regles; per això són incòmodes a les organitzacions i governs rígids.

[quan una organització veu que té limitades les possibilitats de creixement i de transformació, es deu al fet d'estar acceptant els límits anacrònics i contextos que només serveixen als propòsits limitats del poder imposat i coercitiu del cicle límit]

Les cultures greco-romanes valoren la tragèdia: l'heroi enfrontat als déus i destruït per aquests. Altres cultures valoren la comèdia, és a dir, el transgressor, l'ambigüitat i la confusió de papers. La tragèdia té a veure amb les lluites pel poder i està abocada a la mort. La comèdia acaba

amb matrimoni, amb la continuació de la societat i la fertilitat aconseguida amb l'engany al destí, l'ambivalència i la confusió de fronteres i límits.

Les arts marcial utilitzen una aproximació creativa al transgressor: no es tracta d'oposar força a la força, sinó d'utilitzar una resposta intel·ligent en el moment de vèncer l'adversari: aplica una acció de palanca efecte papallona en el moment crucial. Aplica suavitat i calma a la violència més extrema.

Ex. l'1 de desembre de 1955 Rosa Parks (que havia lluitat pel dret al vot dels negres) es va asseure a la part del davant d'un autobús de Montgomery; quan el conductor li va dir que deixés el seient a un blanc, ella s'hi va negar. Començava una revolució: els afroamericans varen començar un boicot històric de 381 dies als autobusos municipals. Martin Luther King va dir en un míting: "*Nosaltres no volem millorar només la vida dels negres de Montgomery, sinó la de tota la ciutat*". El 1956 el Tribunal Suprem dels EE.UU. va dictaminar que aquesta segregació era inconstitucional.

Comparem l'acció de Parks amb la d'un terrorista que vola un edifici o mata un dirigent, amb l'esperança que la seva acció provoqui un aixecament. El terrorista viu en la fantasia que ell pot convertir la seva impotència en poder i exercir un control de la situació a través de l'acte violent.

Resposta al realisme cínic

L'efecte papallona subratlla la pregon influència que poden exercir els individus comuns en la societat; però també indica la humilitat fonamental que és necessària per a exercir aquesta influència d'una manera positiva. Mai podem estar segurs de l'important que pot ser la nostra contribució individual.

La nostra acció pot perdre's en el caos que ens envolta, o pot unir-se en un de tant rínxols que mantenen i renoven una comunitat oberta i creativa. No podem saber si la nostra influència tindrà un efecte, ni com ni quan. Cada element individual del sistema influeix en la direcció de la resta d'elements del sistema.

Mai és una persona la que provoca el canvi, sinó la retroalimentació del canvi dins d'un sistema complet.

Ex. el conte de les volves de neu damunt d'una branca, fins que arriben a trencar-la.

Per a la teoria del caos no existeix l'impossible: el món real flueix constantment i qualsevol context pot canviar i, de fet, canviarà.

Els cínics mantenen que la naturalesa humana mai pot canviar la consciència egoista, jeràrquica i orientada vers el poder que ha dominat la història. La teoria el caos suggereix que la consciència no està confinada en allò que, de forma privada, s'esdevé en cada un dels nostres caps. La consciència és un sistema obert, com el temps atmosfèric, i els continguts d'aquesta consciència es modifiquen constantment per les forces del caos que expressa cadascun de nosaltres.

A través del caos, un individu o un petit grup, pot influir pregonament i subtilment en tot el món.



3. Seguir el corrent

Llei de la creativitat i la renovació col·lectives

Com s'organitzen molts dels moviments espontanis en història (la repoblació espontània de les terres catalanes)? On rau l'organització?

Segons la teoria del caos en l'autoorganització.

Ex. una manifestació (Tiananmen: comença a partir del caos (es comenta, es parla...); algun estudiant realitza una acció: és un punt de bifurcació que s'amplifica. Un altre estudiant el segueix, i un altre... la retroalimentació entre uns i altres inicia una cascada que reuneix tots els estudiants al voltant del projecte, i desemboca en la manifestació.

Es tracta d'un sistema no lineal, obert, creatiu i caòtic. L'autoorganització manté viva la comunitat

En circumstàncies molt diverses, la gent s'uneix, ajuda, col·labora... Ningú ho dirigeix, però es fa. (els nens, quan juguen, s'autoorganitzen en jocs espontanis)

Ex. **Internet com exemple d'autoorganització social** (la Net és un sistema dinàmic, obert i caòtic: hi ha un ordre, però és caòtic)

La xarxa es crea el 1960 per iniciativa de l'exèrcit americà quan cercava un sistema de distribució d'ordres en el cas d'una guerra nuclear, de manera que cap centre individual pogués ser inutilitzat (idea similar a la xarxa d'autopistes nordamericanes pensades com franges d'aeroports per aterrar). Ningú controla la Xarxa; es manté per un flux obert d'usuaris que fan circular la informació. Dins de l'autoorganització global de la Net i la seva www, hi ha innumbrables miniautoorganitzacions sorgint a cada moment (són les comunitats digitals, les llistes de distribució...). La Net és un exemple diari de l'exuberància creativa col·lectiva. Les gegantines organitzacions comercials, jeràrquicament estructurades i mogudes pel poder han vist frustrades, fins ara, les seves aspiracions de canalitzar la Net cap als rígids mecanismes del benefici.

Vida, complexitat i l'atractor estrany

Des de la perspectiva del caos, tota l'activitat en la societat i en la naturalesa és una activitat col·lectiva

Ex. la guerra entre els maring: quan la població de porcs creix, les dones comencen a protestar... (quins serien els punts de bifurcació? Les aliances?). No hi ha cap divisió estricta entre la conducta individual i la del grup.

Regles col·lectives i individuals

Els sistemes autoorganitzats compostos per individus, contenen diversos nivells de complexitat. Cada nivell ha desenvolupat les seves pròpies regles. La conducta individual segueix unes regles; la col·lectiva unes altres. Quan es realitza una acció no és pel fet que un individu o una élite assumeixi la direcció: l'organització es desenvolupa a partir de l'acoblament de la retroalimentació que es deriva de l'activitat individual aleatòria.

Això no seria possible si la naturalesa fos simplement una reunió de parts mecàniques relativament aïllades (és la imatge que ens ofereix la ciència). A través de la teoria del caos podem entendre que la tendència a la **interacció i a la autoorganització** ha de ser una cosa inherent a la naturalesa.

Estructures creatives col·lectives

El caos ens mostra que quan diversos individus s'autoorganitzen són capaços de crear formes molt adaptables i resistents.

Ex. el sistema de proveïment d'aliments d'una gran ciutat (es pot trobar qualsevol menja a qualsevol hora del dia: el sistema funciona eficientment dins de la fèrtil frontera que hi ha entre l'ordre i el caos)

La major part de les regles formals (tràfic, salut i seguretat, la protecció del consumidor) que contribueixen al fet que les coses segueixin el seu curs no foren planificades: evolucionen des de la base, a partir de la retroalimentació entre els elements individuals interactuants.

La perspectiva de la coevolució

Estem defensant la perspectiva de la lliure competència? No; pensar que el sistema de distribució d'aliments a Barcelona és una entitat originada per la competència, equival a creure que les pomes existeixen gràcies a l'insecticida.

La teoria del caos reformula la idea darwiniana de la competència i ens mostra que la biologia està plena de "coevolució" i "cooperació"

[sovint, els animals més agressius, són nerviosos, estressats, mal adaptats i mals agents reproductors; els cooperants i menys dominants són els més adequats de la societat, els que es reproduïxen]

Tenim una imatge de la naturalesa basada en conductes dominants i relacions competitives depredador-presa entre les espècies. Però, què s'esdevé amb la gran multiplicitat de formes en què les diferents espècies es comprometen en una creativitat col·lectiva a través de la unió retroalimentadora?

Ex. quan apareixen les plantes amb llavors dins de fruits, els animals es desenvoluparen amb elles.

Els ecosistemes (ex. la selva tropical) són un clar exemple de relació constant i permanent de col·laboració, de mil maneres subtils que contribueixen a la seva mútua supervivència. Des de la perspectiva del caos és menys important adonar-se'n de com competeixen els sistemes, que adonar-se de com els sistemes aniden uns dins dels altres inextricablement units.

La competència no és el que governa el sistema.

Ex. comença un partit de futbol; sembla que els jugadors actuen de forma independent, ajustant-se a les seves rutines. De sobte, una jugada inspirada i gol: s'amplifica un punt de bifurcació. Ara sembla que els jugadors van més conjuntats: és una creació autoorganitzada.

La "estranyesa" de la col·lectivitat caòtica

L'activitat d'un sistema caòtic col·lectiu, compost per una retroalimentació interactiva entre les seves parts o escales, rep el nom d'"**atractor estrany**".

Dir que un sistema té un atractor vol dir que si elaborem un gràfic dels canvis del sistema, el gràfic mostra que el sistema està repetint un model.

[el sistema és "atret" cap a aquest model de conducta; o bé, si s'altera el sistema, empenyent-lo a apartar-se del seu comportament, tendeix a tornar a ell tan aviat com pot]

En el sistema restrictiu de cicle límit (classe magistral, manual de text, examen memorístic...) la conducta és mecànicament repetitiva, amb molts pocs graus de llibertat. El sistema funciona amb la seva conducta restrictiva independentment del que s'esdevé a l'exterior.

El model del sistema de l'atractor estrany és diferent. El gràfic de l'atractor estrany mostra que la conducta del sistema és imprevisible i no mecànica. Atès que el sistema està obert al medi que l'envolta, és capaç de molts moviments matisats.

Els sistemes artificials (vàlvules i pistons) són regulars. El cor no. Les irregularitats en el ritme cardíac són una mostra de la salut del cor. Si un cor és massa mecànic i regular, és un clar indicatiu de problemes.

L'atractor del cervell és encara més estrany, i requereix un elevat i constant nivell de caos neuronal per a proporcionar la base sobre la que la repentina autoorganització dels pensaments i les percepcions pugui emergir.

Un organisme *sa* té un atractor estrany i és un atractor estrany: agitant-se, movent-se, canviant, ple de vòrtexs de retroalimentació positiva que empenyen el sistema cap a noves direccions, i vòrtexs de retroalimentació negativa que aparten els processos de caure a l'oblit aleatori. Dins de l'atractor estrany de l'organisme s'hi amaguen molts altres atractors estranys, cada un d'ells amb el seu particular grau de "regularitat" és a dir, cada un més o menys estrany.

La diversitat i els sistemes caòtics i oberts

Un dels principis vitals dels atractors estranys i el caos col·lectiu implica la transparent *diversitat* de tots aquests sistemes dins dels sistemes.

[un nínxol ecològic saludable conté una àmplia varietat d'espècies relacionant-se unes amb les altres; si reduïm la varietat i fem el sistema més homogeni, esdevé fràgil]

La creativitat caòtica mostra per què la diversitat és tan important. Quan els diferents individus s'agrupen tenen un gran potencial creatiu

[ex. quan les bactèries que respiraven oxigen envairen altres cèl·lules bacterianes a la recerca d'aliment, l'hoste i l'amfitriona desenvoluparen una retroalimentació que va permetre a aquesta respirar l'oxigen i donar-li a aquella un entorn adient]

Quan els individus –cadascun amb la seva pròpia creativitat autoorganitzada- s'uneixen, es perden alguns graus de llibertat, però se'n descobreixen d'altres.

Una nova intel·ligència col·lectiva emergeix, un sistema obert, absolutament insospitat i lluny del que qualsevol podria haver esperat en contemplar els individus actuar aïllats.

La nostra persistent il·lusió

La manera com ens organitzem en la societat moderna no s'assembla en res a les formes autoorganitzades del caos (pensem en les nostres organitzacions formals, amb els seus organigrames jeràrquics, els seus objectius precisos, els seus informes...)

[quan es parla d'objectius en ensenyament, sempre es fa referència als objectius que vol assolir el professor: però sabem els objectius que volen assolir els estudiants?]

La nostra visió de la realitat: es tracta d'una realitat

- en la que adorem el poder i creiem que tenir-lo és essencial per a la supervivència
- en la que veiem el món en termes de triomfadors i perdedors; un món en el que ens sotmetem a les ordres jeràrquiques i en el que acceptem tàcitament la idea que el qui estan a dalt són millors
- en la que ens reunim en grups i òrgans socials que es resisteixen a la diversitat i en la que les nostres estructures socials operen com entitats tancades, moltes de les quals afirmen la seva identitat en oposició a altres grups (ex. les nacions)

Els nostres governs, les empreses per a les que treballem, els grups d'oci o religiosos als que pertanyem fan de vegades coses terribles. Quan això s'esdevé, censurem els líders o als altres membres del grup; ens sentim al marge de l'activitat col·lectiva de la que, tanmateix, formem part integrant. A un cert nivell ens podem identificar totalment amb una organització; a un altre nivell ens podem sentir aliens a l'organització, veure-la com un "ells". La perspectiva del caos ens permet saber que el nostre malestar té molt a veure amb la manera en que hem assumit que les organitzacions s'hagin de mantenir a través del liderat, la competència i el poder.

Com ens pot repercutir aquesta visió de la realitat?

- la televisió reafirma els valors i la lògica del esquema guanyadors-perdedors, del que és millor i dels herois i líders (Jerry Mander (1992), *In the Absence of the Sacred*)
- la cooperació i la participació són substituïts per la competència i la rivalitat
- en un procés deshumanitzador: la creença en que el poder dels mecanismes i les tecnologies poden salvar-nos; la creació d'una estesa passivitat i desesperança social; una monocultura dividida per les lluites racials i ètniques; una cultura encadenada a les programacions i als èxits ("tenir-ho tot"), fins l'extrem que molts individus semblen no tenir temps per a ser; una cultura fascinada amb les celebritats, les imatges, el carisma i la mobilitat social

Treballem més ara que a les societats caçadores-recol·lectores. La vida gira al voltant del treball. Les organitzacions –tancades, jeràrquiques, competitivament organitzades i linealment planificades- es posen en guàrdia per evitar que les activitats creatives puguin arribar a autoorganitzar-se dins de les parets de l'empresa. En el treball no es permet que les persones admetin la debilitat, reconeixin dubtes o cometin errors sense pagar un alt preu. Les manifestacions del caos estan suprimides, és a dir, exactament les activitats necessàries per a que es produeixi la creativitat. (pàgs. 90-95)

[relacionar-ho amb l'empresa hipertextual]

Des de la perspectiva del caos, el problema real és que durant molt temps els éssers humans han imposat ideologies de poder, jerarquia i competència per damunt de les seves tendències naturals a l'activitat creativa col·lectiva.

Procés que segueixen les organitzacions noves segons la teòrica de la complexitat Lynda Woodman i l'economista Brian Arthur:

- primer, les noves organitzacions tenen una qualitat caòtica, flexible i indagadora i un notable companyerisme entre els creadors (aquesta qualitat caòtica pot permetre irrompre amb èxit a l'escena comercial)
- passat un temps, l'organització acaba petrificant-se (assumeix els principis del que s'entén per "bons negocis")
- al final, la jerarquia, la competència i el poder comencen a dominar les seves activitats i, en conseqüència, es reforcen els rínxols de retroalimentació negativa que controlen la manera en que es fan les coses; d'aquesta manera, l'atractor estrany de l'organització acaba reduït al cycle límit. La creativitat individual es subordina a les rutines i a les conviccions ritualitzades de l'organització. La gent entra i surt de l'empresa, però el "sistema" roman inalterable: els individus no importen

L'experiment del diàleg

Els "grups de diàleg": grups que es reuneixen per analitzar la naturalesa de les relacions de grup. Es tracta de mirar de comprendre com les nostres suposicions individuals i col·lectives controlen les nostres relacions amb els altres i examinen les possibilitats de la creativitat col·lectiva.

Per al físic David Bohm el diàleg "no és un intercanvi, ni una discussió. Discussió significa palejar una i una altra vegada, en dues direccions, com en una partida de ping-pong. Això té un cert valor, però en el diàleg mirem d'aprofundir més... per a crear una situació en la que "suspenem" les nostres opinions i judicis de manera que siguem capaços d'escoltar-nos els uns als altres". Aquesta suspensió no és tant un desig dels membres del grup, quant un efecte del diàleg en si mateix. Atès que hi ha molts punts de vista diferents flotant en l'ambient en un diàleg, les opinions i judicis de cadascú poden acabar sent posposats. Fins i tot les conviccions "innegociables", subjacents fins i tot en els desacords més intranscendents i que no poden raonar-se, poden suspendre's i fins i tot transformar amb el procés de la creativitat col·lectiva.

En tot grup, sota del caos aparent, hi ha un ordre. Encara que hom tingui la sensació que no canvia la manera de pensar de ningú, sí que s'està canviant. Influïm els uns en els altres. De vegades no entenem el que ens volen dir; reaccionem davant les paraules. De vegades no entenem el que volem dir fins que els altres ens descobreixen el sentit del que hem dit. De vegades, un del grup, a través d'algun tipus d'actitud (per ex. l'interès autèntic per les idees de dues faccions antagòniques dins del grup i l'escepticisme respecte a que qualsevol d'elles tingués la solució adient) pot proporcionar una "influència subtil" que ajuda a suspendre les conviccions innegociables el temps necessari per facilitar l'emergència d'una solució nova.

[ex. les discussions en molts pobles "primitius" com ara els iroquesos: el consell pot durar dies o setmanes; de vegades no es prenen decisions perquè no es pot assolir un acord unànime: però quan es pren una solució tothom la "fa seva" i s'hi sent compromès: és tant una decisió col·lectiva com individual].

Els problemes actuals són de tal magnitud que no hi ha cap líder o sistema que pugui resoldre'ls. A més, les nostres organitzacions s'aïllen de nosaltres en la mateixa mesura que ens absorbeixen. Donem per fet que, atès que els individus són essencialment partícules separades, l'acció col·lectiva ha de ser coordinada a través d'aquestes estructures externes imposades.

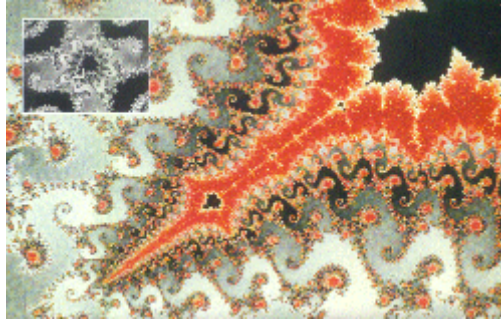
Què s'esdevindria si deixem que l'autoorganització creï les nostres comunitats? Què s'esdevindria si forgéssim les nostres solucions socials en la forja del caos creatiu?

La "memòria col·laboradora" proporciona un altre tipus d'exemple d'autoorganització col·lectiva.

Els investigadors han descobert que els cònjuges ancians compensen la pèrdua normal de memòria per a recordar noms familiars, cares i esdeveniments. Ho fan esdevenint experts en l'ús de la retroalimentació, col·laborant l'un amb l'altre per a poder reconstruir el que s'oblida (les parelles que portaven més anys casades retenien millor una història que se'ls llegia que les parelles més joves).

En lloc de tractar l'activitat mental com el producte d'un cervell individual, caldria estudiar si la ment existeix primer en les relacions socials que influeixen en el que els individus pensen i fan (Bruce Bower, "Partners in Recall", *Science News*, nº 11, 13 de setembre de 1997, pp. 1.174-1.175)

Brian Goodwin citat a Roger Lewin (1992), *Complexity: Life at the Edge of Chaos*. Nova York. Macmillan.



4. Explorar què hi ha al mig

Llei del que és simple i del que és complex

La vida és simple o complexa? La teoria del caos diu que pot ser ambdues coses i, sobretot, que pot ser-ho al mateix temps.

- el caos revela que el que sembla increïblement complicat pot tenir un origen molt senzill, mentre que la simplicitat superficial pot amagar alguna cosa sorprenentment complexa.

La ciència paradoxal

El que és molt simple i el que és molt complex són reflexos l'un de l'altre. Les intuïcions sobre la paradoxa de la simplicitat i de la complexitat apareixen sovint en l'art i la saviesa antiga. Ex. el cel de Dante està ple d'infinita complexitat i diversitat, però alhora està contingut en una "simple flama". Nicolàs de Cusa, al segle XV descriu Déu com "la unitat dels contraris"; el taoïsta Chuang Tzu somnia que és una papallona i després es pregunta si potser ell no serà el somni d'una papallona que somnia que és un home.

Els **fractals** [<http://www.dd.chalmers.se/~gu94joli/caf.html>] –la geometria de les formes irregulars i els sistemes caòtics- són una manera de veure la paradoxa complexitat-simplicitat de la naturalesa i també de pensar sobre ella.

(els arbres, rius, núvols, costa... poden ser descrits mitjançant la geometria fractal; el conjunt de Mandelbrot és un típic exemple de fractal matemàtic; la complexitat d'un niu de tèrmit és el resultat de la constant repetició d'una única solució; els electrons d'un metall normal a temperatura ambient es comporten com un gas caòtic de partícules, però si a aquest "gas" se li aplica una energia addicional –tal com es punteja la corda d'una guitarra- vibra d'una manera regular anomenada "oscil·lacions del plasma", per tant el moviment regular i el caòtic estan present simultàniament. L'estudi del **plasma** mostra que la infinita complexitat del caos i l'ordre simple estan indissolublement units: sense l'ordre regular del plasma, no els seria possible als electrons de conduir-se lliurement i aleatòriament; i el moviment col·lectiu de tots els electrons del "gas" existeix en virtut del moviment caòtic dels electrons individuals)

David Bohm, creador de la teoria del plasma, la veu com una imatge de la manera en què la complexitat inherent a milions d'individus lliures, cadascú únic i diferent, pot produir una societat coherent: la societat –com el plasma- és una forma relativament simple que emergeix dels somnis, desigs i contribucions complexes dels seus membres; cada individu, amb la seva llibertat d'elecció és, en part, creador de la societat en la que viu. Una societat sana requereix que es tingui cura tant del que és individual com del que és col·lectiu.

Intermitència: la tempesta dins de la calma

Quan les interaccions, les repeticions i la retroalimentació estan en funcionament, la simplicitat i la complexitat es transformen constantment l'una en l'altra.

La situació esdevé sorprenent quan la simplicitat i la complexitat s'alternen en el que els científics denominen intermitència.

Ex. el període de 24 hores del dia en la Terra sembla regular; però amb la introducció de rellotges atòmics de gran precisió, es va descobrir que la Terra experimentava alteracions en la seva rotació: el pas del "temps" de la Terra no és perfectament regular, atès que conté esclats interminables de caos. No és el que s'esdevé amb els ordinadors (quan cal sortir i tornar a entrar) quan es pengen (irrupcions del caos dins d'un ordre regular)? Un exemple d'equació no lineal es pot veure en l'evolució de la taxa de natalitat: quan la taxa és de 3, la població ja no oscil·la i s'estabilitza en un ritme equilibrat, i amb una taxa de 3,7 el sistema perd l'equilibri i fluctua imprevisiblement d'un any al següent. O bé: per matar l'escarabat de la patata puc anar augmentant la dosi de pesticida, però l'augment de la dosi no es correspon linealment amb la destrucció de l'escarabat: com més adults es maten, més grans són les oscil·lacions.

La intermitència planteja diverses preguntes: apareix el caos perquè una conducta regular s'ha trencat temporalment? O és l'ordre regular realment una ruptura del caos subjacent a la realitat? O bé és l'estable i tranquil·la intermitència social una manifestació de la complexitat caòtica subjacent?

Ex. observem com les societats concedeixen un paper explícit a la intermitència: carnivals, festes, balls, àpats, fogueres... es trenquen les normes dins de l'ordenament social. Aquests esclats de caos permeten que el bon ordre de la societat continuï prevalent durant la resta de l'any. Sota el caos del carnaval es troba la renovació d'un important rínxol retroalimentador que preserva la cohesió social (cfr. la guerra entre els maring) [una mica de caos de la vida cal per tal que el sistema immunològic funcioni de forma eficient]

La complexitat i la casualitat com a porta per a l'ordre

Prenem els nombres enters 1,2,3... entre ells hi encaixen els racionals (compostos a partir de les proporcions entre els enters $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{7}{8}$, $\frac{31}{32}$,...) Entre dos enters hi ha un nombre infinit de racionals; entre dos números racionals hi ha un nombre infinit de números racionals. Però també hi ha els nombres irracionals (rel quadrada de 2, el número pi), els que no poden ser expressats com a proporció d'altres dos nombres. Els nombres racionals sempre són finits o, com $\frac{1}{3}$ repetits d'una manera regular perfecta (0,33333...); però un nombre irracional és infinit, no té un ordre intern que ens indiqui quin serà el dígit proper. La irracionalitat és una forma d'intermitència dins de la línia regular dels nombres; els nombres irracionals són esclats d'infinita complexitat, de total aleatorietat dins d'un sistema regular.

La casualitat com a camí envers noves formes: la tècnica del dripping de Jackson Pollock

La teoria del caos ens diu que quan la vida ens sembla més complexa, un ordre simple sembla esperar-nos a la cantonada. I quan les coses ens semblen simples, hauríem d'estar a l'aguait per descobrir els matisos i la subtilitat amagats. Són, doncs, la complexitat i la simplicitat idees subjectives?

Segons la teoria del caos, la complexitat i la simplicitat no estan presents de manera inherent en els propis objectes, sinó en la manera en què les coses interactuen entre elles i nosaltres amb elles.

L'ull i el cervell, amb els seus moviments constants, interactuen amb l'activitat i les transformacions del món per abstroure i traçar trets significatius. Aquests trets constitueixen l'ordre que veiem. Les nostres interaccions potencials amb el món són tan increïblement

complexes que els nostres cervells han desenvolupat moltes estratègies d'abstracció i **simplificació**. Aquestes estratègies van canviant amb el temps. Avui en dia fem servir, cada cop més, una estratègia digital, tot i que la realitat digital suposa una considerable simplificació del món real (ignorem les moltes dimensions de la realitat que no poden ser digitalitzades). [La pròpia ciència simplifica i torna abstracta la naturalesa; però la seva dependència de les matemàtiques fa que la ciència només pugui tractar allò que sigui quantificable, numèric i mesurable. Per tant, el progrés científic es produeix a expenses de les qualitats de la naturalesa i dels valors no quantificables, i confereix a la ciència una poderosa tendència envers la fragmentació i la simplificació excessiva].

El caos ens diu que tot està, en definitiva, connectat amb tot (i això és, precisament, el que pretén l'hipertext)

Conèixer-se totalment a un mateix equivaldria, en efecte, a comprendre tot l'Univers. La psicologia popular (i els llibres d'autoajuda) es basen en la premissa que existeix un "jo" independent que pot ser identificat, analitzat, reprogramat i perfeccionat. Tanmateix, quan més cerquem aquest "jo" més descobrim les nostres interconnexions no lineals amb el que està "fora" del jo. Com més cerquem el jo, més s'esvaeix com entitat independent.

La nostra capacitat per a simplificar i abstroure ens permet practicar una mesura de predecibilitat en les nostres trobades amb els individus i l'entorn. Per això creem estereotips (racials, nacionals, culturals, socials...). Qui simplifica, es simplifica. Fins i tot les emocions poden ser estereotipades (reaccions davant una pel·lícula de por...) I les simplificacions són l'eina que fan servir els demagogs per obtenir la nostra lleialtat o la nostra por per a concedir-los el poder.

Ex. els recents immigrants als EE.UU. tenen un alt prejudici contra els afroamericans: el clima de la societat nordamericana anima els nou vinguts a adquirir els estereotips negatius sobre el negre, "l'altre", i així donen proves que s'han integrat a la cultura majoritària.

Seduïts per les nostres abstraccions, ens habituem a veure el món a través de categories que ens fan cecs a les subtilitats i a la riquesa de les petites coses. Però també ens podem deixar dominar tant pels detalls i la complexitat que no siguem capaços d'abstroure el significat subjacent en una situació. Ens hem de demanar sempre si la simplicitat o la complexitat són inherents al tema amb el que ens enfrontem o si és alguna cosa que estem projectant.

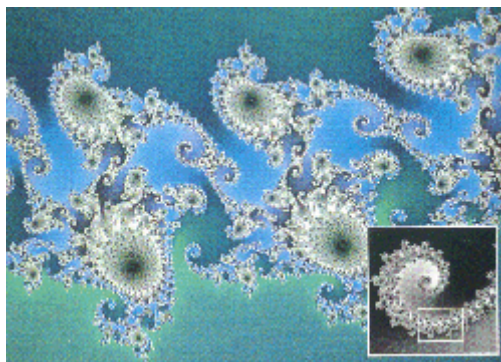
Cal diferenciar complexitat de **confusió**. La complexitat designa allò essencial sobre les nostres relacions amb el món. La confusió és un sistema d'alarma que ens informa que estem deixant de veure la simplicitat essencial dins del que és complex o que estem menystenint els rínxols dels matisos dins del que és simple.

Una de les nostres permanents fonts de confusió prové del fet de parcel·lar el món en **dualitats**. La teoria del caos pretén superar les dualitats: simple-complex, objectivitat-subjectivitat, jo-altre, ordre-atzar, estabilitat-hipersensibilitat, poder-influència subtil, cos-ment, ordre-caos, control-incertesa, bé-mal. Cada un d'aquests pols conté l'altre. En canvi, les dualitats es manifesten en els estereotips. Ex. és el mal i el que és injust de la societat el resultat d'individus malvats i de llurs conspiracions, com ens suggereix el dualisme? O més aviat de les activitats d'homes i dones corrents que accepten els estereotips, els eslògans i altres simplicitats de la societat, al temps que diuen que "no hi ha res a fer" i que tot és "massa complicat"?

El caos suggereix que la ironia, la metàfora i l'humor ens ajuden a superar el dualisme, com també la dialèctica. La teoria del caos, amb la seva acceptació simultània de la simplicitat i la complexitat, de l'ordre i el caos, del singular i plural, del jo i l'altre, s'apropa molt a la saviesa tradicional. El caos ens invita a adoptar noves estratègies vitals: l'estratègia humana és no tenir cap estratègia, sinó viure a cobert i explorar molts entorns diferents. No som els reis de la jungla, sinó els adeptes al caos. Ex. el primer acte d'un nou nat en reconèixer el rostre de la seva mare en un flux permanentment canviant d'aparences, i identifica els mínims canvis d'expressió amb les emocions de la mare.

Ex.

- qualsevol racó d'un paisatge recull l'ordre subtil i el canvi constant i imprevisible que s'hi opera, on tot està connectat amb el moviment de tota la resta
- el caos implica ramificació, contracció i canvi com una part d'un "sistema" que interactua amb les seves altres parts incomputables. La desembocadura d'un riu recorda un sistema de rels o un calamar. Una muntanya, formada pel xoc de les plaques tectòniques, és modelada i erosionada pel temps, els arbres... Les formes caòtiques, a les que anomenem fractals, posseeixen la característica que les "parts" de la forma repeteixen la forma a diferents escales.
- els flocs de neu són fractals, atès que reuneixen la simetria de les sis cares dels cristalls amb el caos que afecta a la manera en la que creix cada "braç" radial del foc
- quan els humans es reuneixen en grans concentracions s'autoorganitzen en formes fractals, els patrons del caos (sovint recorda l'ordre aleatori i autoorganitzat d'un camp de flors)
- la pintura abstracta pot semblar a primera vista desordenada, però la teoria del caos suggereix que molts pintors abstractes tenen una pregonada intuïció dels models de la realitat: la realitat no com a col·lecció d'objectes sinó com un ordre dinàmic i turbulent inseparable de les nostres pròpies percepcions (cfr. artistes fractals)



5. Observar l'art del món

Llei dels fractals i la raó

[<http://www.science-house.org/student/bw/chaos/>

The Chaos Hypertextbook <http://hypertextbook.com/chaos/>

Chaos and Fractals.

<http://www.pha.jhu.edu/~ldb/seminar/index.html>

Fractals

<http://en.wikipedia.org/wiki/Fractal>

Chaos Theory

http://en.wikipedia.org/wiki/Chaos_theory

Quan mirem els núvols i les seves formes capricioses, quan observem les onades que venen i van per la sorra... estem parlant de fractals, dels models recurrents i incessants de la natura: els models de la naturalesa són els models del caos.

“**Fractal**” [<http://astronomy.swin.edu.au/pbourke/fractals/>] és el nom donat pels científics als models del caos que veiem al cel, a la terra... (el caos modela les tortuoses i permanentment canviants formes fractals de les línies de la costa) La paraula fou definida pel matemàtic **Benoît Mandelbrot** [<http://math.bu.edu/DYSYS/FRACTGEOM/FRACTGEOM.html>], i ara s'utilitza àmpliament en la teoria del caos, on els fractals fan referència a les marques i formes realitzades per l'acció de sistemes dinàmics caòtics. Els matemàtics han imitat els fractals naturals (el sortint d'una roca causat per un terratrèmol o una gelada, la xarxa dendrítica d'un sistema fluvial, la forma efímera d'un floc de neu, la forma dels núvols, el cervell humà...) fent servir diverses classes de fórmules de retroalimentació no lineals, però no tenen la subtileza dels seus equivalents naturals. (els fractals matemàtics són impressionants, però a base de mirar-los hom perd la frescor inicial; això no s'esdevé amb les creacions de la naturalesa, que emergeixen d'un procés caòtic hol·lístic en el que les innumbrables parts estan subtilment interconnectades).

La il·lustració clàssica d'un fractal és una **línia de la costa**. Mandelbrot preguntava: com és de llarga la costa de Gran Bretanya? (si ho mesurem damunt d'un planisferi, és fàcil; si ho mesurem damunt d'un mapa de carreteres, també és fàcil però donarà una mica més llarga; amb un mapa marítim de més precisió, serà més llarga... Es pot arribar a la conclusió que és infinita (si arribem a nivell molecular). Una línia costanera es forma per l'acció caòtica de les ones i altres forces geològiques.

Es generen formes que repeteixen, a escala més reduïda, un model similar al que es veu a escala més gran: **el caos genera formes que posseeixen “autosemblança a moltes escales**

diferents". (ex. la forma d'un arbre: el tron es bifurca en branques, les branques en branquillons, a les fulles trobem el model dendrític de les venes...: tant a gran escala com en el detall més petit, l'arbre és un registre autosemblant del flux de l'activitat caòtica que l'ha creat). Al costat de l'autosemblança de les formes d'un arbre podem observar com cada un d'ells és absolutament únic. **L'autosemblança inclou tant les diferències individuals com la singularitat, així com les similituds.**

L'autosemblança fractal és la versió del caos de la següent afirmació budista: "S'aixeca una partícula de pols i tota la terra s'hi troba; floreix una flor i clareja un univers amb ella". A la microescala de la nostra existència, cada un de nosaltres és una única representació del món que ens ha creat.

L'**autosemblança fractal** entre el microcosmos i el macrocosmos és un producte de totes les complexes relacions internes retroalimentades que s'esdevenen en un sistema dinàmic. Mirar amb atenció els trets fractals de la realitat és una manera de veure l'impredible moviment que crea el món i el manté cohesionat. La dimensió fractal d'un objecte és una mesura aproximada de la seva complexitat (però no ens diu gran cosa sobre la naturalesa dels detalls i menys encara de les seves relacions amb altres objectes)

L'estètica dels fractals

Estem habituats a pensar la bellesa de la naturalesa en forma de parc natural, de postal (els boscos semblen un parc de ciutat), de formes que s'adapten al concepte de grandesa imponent i de sublimitat.

L'**estètica del caos** no té res a veure amb la bellesa de postal, sinó amb la mirada en detall als boscos reals, amb arbres caiguts, zones d'aiguamolls...: un moviment de coses connectades de maneres no revelades. La teoria del caos ens ajuda a posar en primer terme el que és femení en la nostra exploració del món (Linda Jean Shepherd (1993), *Lifting the Veil: The Feminine Face of Science*. Boston, Shambhala).

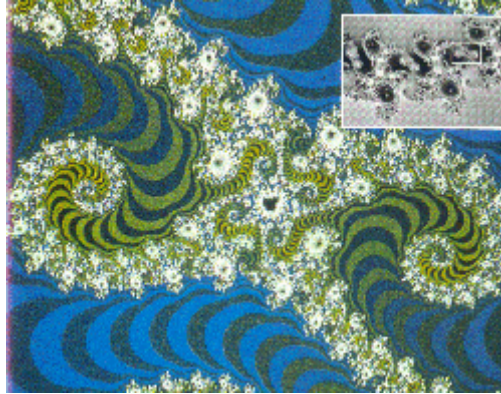
Art i fractals

A les seves arrels, l'art conté nius d'autosemblança. Però el model d'ordre fractal a l'art va més enllà del que és mecànic. La naturalesa construeix els seus fractals a partir de la matèria i l'energia. La matèria de l'art inclou també la consciència humana. Els artistes creen discordances (formals, metafòriques, dissonàncies...). Les concordances i les discordances conformen models que són sempre sorprenents i significativament autosemblants i autodiferents els uns dels altres, reflectint, d'aquesta manera, el curiós misteri del nostre ser en el món.

La catedral gòtica fou una gran estructura artística de formes autosemblants (i diferents) organitzada en una tensió i equilibri dissenyats per evocar l'apreciació de l'harmonia còsmica. La llum divina, l'Ésser que era pura "raó" o racionalitat es va fer palès a l'espai de la catedral a través de l'ús dels vitralls.

Els fractals i el caos ens permeten afegir al transgressor Dionís a la nostra idea del que significa ser raonables.. si a la lògica li sumem l'harmonia, i a l'harmonia afegim la dissonància, aleshores ser racional és ser creatiu. **Si cal prendre decisions racionals que afecten ecosistemes caòtics, és excessiu pensar que ens cal desesperadament una nova classe de racionalitat que inclogui no només els nostres poders analítics i de deducció lògica, sinó també, la nostra empatia i la nostra resposta estètica al món natural?**

La nostra vella forma de raonar, que considera el món com un objecte exterior que ha de ser analitzat, disseccionat i controlat, no funciona ja en el context dels problemes del món modern. (exemple de "racionalitat" tecnològica moderna: Brasília, que és, de fet, una ciutat inhabitable). Es tracta, doncs, de viure dins d'una nova dimensió de l'espai fractal.



6. Viure dins del temps

Llei dels rínxols fractals de la durada

Els temps, actualment, ens té segrestats. Mai tenim prou temps, i quan en tenim una mica el malversem. El temps ha esdevingut una cosa mecànica, impersonal, externa i desvinculada de la nostra experiència. En altres cultures, el temps es un riu per on navegar-hi. Es tracta, doncs, de viure dins de la nova dimensió del temps fractal. (quan entrem plenament en un moment concret del temps, és possible tocar l'eternitat). Allunyats del veritable significat del temps, perdem la nostra connexió amb els ritmes propis de la vida.

Tenim una imatge del temps com una línia recta, una fletxa que va dels passat al futur. La teoria del caos reemplaça la línia amb una complexa i inacabable figura de dimensió fractal (ja que sosté que no hi ha línies simples en la naturalesa). Seria el temps l'única línia unidimensional de la naturalesa?

El temps té una dimensió fractal. Aquesta visió ens ofereix la porta d'accés als remolins i corrents del temps on poder explorar els seus vòrtex turbulents. Sabem que el temps passa més de pressa o més a poc a poc (el viatge d'anada sempre és més llarg que el de tornada): de vegades podem entrar en un temps fractal i experimentar els seus matisos temporals i actuar en consonància amb els nostres ritmes interns.

La línia temporal burocràtica i organitzada té poc a veure amb el ritme de vida. El món en el que vivim divideix la línia del temps en segments tancats de durada que no deixen espai lliure per als detalls fractals ("en contemplar el foc i l'espèctec de les guspies en una llar de foc a l'hivern, hom té la sensació d'entrar en uns ritmes temporals que no tenen res a veure amb els temps marcat pel rellotge"). En explorar els detalls fractals del temps, els microesdeveniments flueixen sobre nosaltres plens de matisos que tot just havíem apercebut. Quan la societat que hem creat ens allunya del veritable significat del temps, ens roba la nostra connexió amb els ritmes propis de la vida (recordem l'estil de vida dels pagesos medievals molt més d'acord als ritmes naturals i els canvis operats en la consciència medieval del temps -el temps pertany a Déu i així prestar diners durant un cert temps era pecat- i l'aparició de rellotges mecànics en edificis públics).

El temps s'ha separat de la immediatesa de la experiència humana i s'ha reduït a nombres transformant-se en mercaderia (temps mort, en temps real, no arribar a temps, tenir temps, perdre el temps, fer temps, passar el temps, aprofitar el temps, omplir el temps...). Només aquesta concepció del temps va fer possible el capitalisme: també el temps ha esdevingut diner. També la Història està imbuïda d'aquesta visió del temps. Per què no pensar que el temps pertany a l'àmbit de les subtils interrelacions humanes i multiplica els moments de contacte humà?

Els fractals són autosemblants, i això ho és també el temps fractal. En una obra d'art, cada fragment d'un quadre reflecteix metafòricament el moviment de tota la pintura (en una obra musical, el temps s'expressa a sí mateix en la subtileza dels canvis de *tempo* (com l'aigua d'un rierol, el temps es corba, es separa, flueix...)).

Pot ser que cada "esdeveniment" o fins i tot cada moment de la nostra vida sigui un microcosmos fractal de tota la nostra vida?

La teoria del caos ens diu que els sistemes tendeixen a autoorganitzar-se, preservant el seu equilibri intern, alhora que retenen una certa mesura d'obertura al món exterior. Una cosa similar s'esdevé amb el temps. **Cada element d'un sistema posseeix el seu propi rellotge**, la seva mesura singular de la magnitud del procés interior que s'està desenvolupant respecte a l'entorn exterior. En l'autoorganització d'un sistema més gran, els "rellotges" interns dels sistemes més petits es compassen. El ritme del temps varia des del ràpid tic de l'àtom fins l'expansió de tot el cosmos. Cada sistema conté la seva pròpia mesura del temps i, quant a sistema connectat amb l'entorn, el temps s'enriqueix i s'omple de dimensions.

Cadascun de nosaltres és una multiplicitat de rellotges interns:

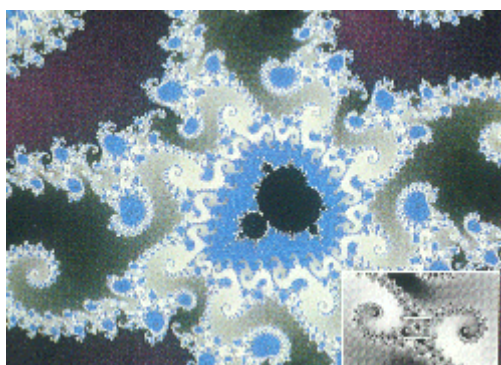
- les cèl·lules s'organitzen en diferents òrgans els rellotges interns dels quals les instrueixen per a segregar hormones i reaccionar químicament
- alguns dels rellotges operen en forma de repeticions del cicle (el cicle menstrual, les pujades i baixades del metabolisme al llarg del dia, els cicles de son i vigília...)
- altres rellotges (els ritmes de la consciència) estan més oberts a les influències de l'entorn
- quan el cervell percep una amenaça, un seguit de senyals anul·la els cicles normals d'alguns òrgans (segregant adrenalina que interromp els batecs del cor, accelerant-lo, o bé contraent els vasos sanguinis per tal que portin més cabdal sanguini als òrgans...). **El temps de la percepció i el pensament es força complex i multidimensional.**

Els sistemes autoorganitzats sacrifiquen una part de la individualitat inherent als seus components per a permetre l'existència del que és col·lectiu. Tanmateix, aquests graus amagats de llibertat estan sempre presents per animar el sistema. **El cervell opera amb una multiplicitat de rellotges interns** (d'alguns en som conscients, d'altres no -respiració, memòria, temperatura del cos...). En música, els ritmes mai es repeteix amb exactitud, a l'igual que els batecs del cor (recordem els intervals diferents de les columnes del Partenó). És aquesta fluctuació fractal dins de la regularitat el que dóna la vitalitat (quan els batecs del cor esdevenen totalment regulars, s'està mot a prop de l'aturada cardíaca).

Concebre **el temps com una mesura de l'activitat en contacte amb l'entorn**, s'adiu més a la nostra experiència que concebre'l com la successió d'interval·ls idèntics d'un rellotge mecànic. Estem condicionats per la sincronització amb el temps de rellotge mecànic del nostre entorn industrial; però el temps de la nostra experiència interna refusa aquesta precisió d'interval·ls iguals. Ens pensem que només el temps extern del rellotge és el real; però quan volem adaptar-nos al ritme del rellotge, ens posem nerviosos, ens estressem. Quant més intentem adaptar la nostra flexibilitat interior al ritme extern del temps mecànic, més amenaçada es troba la nostra autoorganització fractal interna.

La teoria del caos suggereix que connectem i enriquim, vivint dins del centre de la complexitat, els nostres rínxols retroalimentadors amb el món (mirar de mesurar el temps interior utilitzant un rellotge genera confusió sobre quant temps tenim en una situació determinada). No ens "cal més temps", sinó un temps ple, en el sentit de comprometre'ns amb l'activitat que estem desenvolupant (el temps passa molt a poc a poc quan ens avorrim, i molt de pressa quan estem atrafegats en una cosa: en quina situació tenim "més temps"?). Quan la mesura del temps és mecànica, experimentem el temps com un cistell de la compra que ha d'omplir-se per a poder sentir-nos desbordants d'alegria.

Quan temps va necessitar Picasso per a "pintar" el fris del Col·legi d'Arquitectes de Barcelona? Cal considerar només el temps d'execució? Quan temps necessita un actor als assaigs per tal que creixi el "personatge"? La creativitat, a més, pot exigir llargs períodes de passivitat, però pot desfermar-se amb rapidesa de manera que en poc temps es faci molt. No és que les persones creatives treballin més ràpidament o durament que les altres, o que siguin capaces d'abastar un gran nombre d'activitats diverses en un sol dia, sinó que moltes de les seves tasques són simultànies, cadascuna dins del seu propi temps, temps que s'uneixen rebent energia uns dels altres. Somniar pot ser una manera d'entrar en la plenitud del temps; pel cap de personal o el buròcrata és senzillament perdre el temps. De fet, el temps que realment volem és el temps fractal del que ja disposem ara mateix.



7. Tornar a unir-se amb el tot

Llei del corrent d'una nova percepció



Lewis Thomas compara la terra amb una cèl·lula; totes les seves parts s'unifiquen per a formar una completa interdependència i una entitat global; una simple cèl·lula és un microcosmos fractal del que ha aconseguit la vida sobre la Terra. Però, sota aquesta visió de totalitat hi trobem fronteres, línies de propietat, lluites sectàries i ètniques, competència d'interessos, conflictes..., sembla l'antítesi d'aquesta cèl·lula integrada i sorprenentment bella tal com s'observa des de l'espai. La teoria del caos, a l'igual que aquesta imatge del nostre planeta a l'espai, ens ofereix una percepció i una concepció associada d'un món interconnectat, d'una totalitat.

La teoria del caos planteja la concepció de l'Univers com a totalitat, perspectiva que ha nascut d'una visió mecanicista que és l'antítesi de la totalitat, visió que alhora va néixer d'una concepció hol·lística de l'Edat Mitjana.

De l'hol·lisme medieval al mecanicisme

Canvis que s'han esdevingut fins la nova percepció hol·lística que ens ofereix la teoria del caos:

- època medieval: la terra es considerava un ésser viu i els artesans estaven compromesos en la sagrada tasca d'ajudar a la naturalesa a assolir la perfecció. Quan l'abat Suger va fer reconstruir l'abadia de Saint-Denis cercava la bellesa no com una cosa agradable als ulls, sinó com una expressió de la bondat natural i de la veritat; es podia trobar Déu en les formes, els colors i la llum. L'abadia era un microcosmos de la Terra i el cosmos. La *Divina comèdia* de Dante és una grandiosa metàfora poètica d'aquest **ordre diví hol·lístic**
- fa uns 800 anys s'inicià la **perspectiva científica i mecanicista**. De mica en mica, la naturalesa va ser objectivada i exterioritzada i es desenvolupà la idea de considerar els humans com individus a part amb les seves pròpies aspiracions i la seva vida interior.

Com la paraula **consciència** ha reflectit aquest canvi? (entenem que la nostra consciència és l'essència de la nostra individualitat)

- fins el Renaixement, la consciència no era considerada com un patrimoni exclusiu dels individus. Es referia a allò que les persones sabien en comú, no a allò que sabien quant a individus
- Tomàs de Aquino va negar la concepció que els éssers humans participessin en els treballs interiors de la naturalesa. En l'artesania, l'essència de la matèria resultava inalterable i que era només la forma el que era modificat per la tasca de les seves mans: això implicava que la matèria era indiferent a les nostres accions i als nostres desigs i, per tant, una cosa exterior a nosaltres.
- la impremta va incrementar la capacitat d'aprenentatge i va incentivar l'estudi individual, privat
- a les ciutats-estat va aparèixer un nou tipus d'autoritat: governants que obtenien la seva posició gràcies a la seva capacitat personal, la seva influència i el seu carisma, en lloc de rebre el poder com una herència de naixement
- a partir del Renaixement, **ser individu** havia esdevingut una virtut i la raó humana desafitava la revelació divina: l'Home esdevenia el centre de totes les coses
- en el teatre, Shakespeare posa els fonaments d'una psicologia personal
- les pintures de Leonardo descriuen les figures humanes reals, i no com a símbols d'un drama de la unitat còsmica
- el Renaixement crea el mite de l'artista com un heroi i un geni, una identitat: l'individu expressant la seva individualitat, dominant els seus materials
- quin preu es va pagar? Quant més es separaven els individus de la societat i del món natural, més distant i cossificat es tornava el món per a ells. No és casualitat que l'art renaixentista inventés la **perspectiva**: tècnica geomètrica en la que el món és literalment projectat cap enfora i es veu a distància (altres cultures han conegut la tècnica de la perspectiva i el punt de fuga, però no l'han desenvolupat, perquè per fer que treballi la il·lusió cal distorsionar les formes dels objectes fins que tots ells s'ajustin a aquest punt de vista: això significava que el punt de vista individual del pintor estava reemplaçant l'omniscient i abastadora perspectiva divina)
- a inicis del segle XVII un concert significava un grup d'instruments tocant junts de forma harmònica; però a mitjan segle XVIII era ja la lluita d'un sol instrument, un piano o un violí, per tal d'afirmar la seva visió individual davant de l'orquestra.

- en literatura es va desenvolupar la novel·la i la biografia
- Francis Bacon havia afirmat que "el coneixement és poder" i que aquest coneixement podia obtenir-se extraient de la natura els seus secrets
- **Newton** fonamentà la iniciativa científica en tres lleis que descrivien el funcionament total del cosmos. Les seves equacions completaren la deshumanització del món natural en descriure'l com format de blocs mecànics en interrelació: comprendre esdevingué descompondre les coses en els seus elements i explicar els lligams causals que les unien. La naturalesa esdevingué un gran rellotge que la ciència podia muntar i desmuntar. La **predicció** i el **control** foren les forces dinàmiques de la nova societat científica

A causa del seu èxit, la ciència ha intensificat la mecanització de la nostra societat i ha confirmat la nostra percepció d'un univers mecànic. Un **paradigma mecanicista** basat en el progrés i el creixement il·limitat (ens porta, però, el "progrés" a una millora de la qualitat de vida?)

No hem de menysprear els beneficis reportats per la ciència i la tecnologia mecanicistes; però cal no oblidar que aquesta visió reduccionista i mecanicista ens ha portat, com a societat, a oblidar la nostra empatia instintiva amb el món natural. "Els homes han esdevingut eines de les seves eines" (Henry David Thoreau)

De la visió mecànica a la totalitat caòtica

A finals del XIX es produeix un nou canvi de percepció, iniciat per Jules-Henri Poincaré, i que actualment ha culminat en la teoria del caos

- s'inicia l'hol·lisme caòtic en un moment d'optimisme tecnològic i de fe en el punt de vista mecanicista (torre Eiffel, automòbil, primers experiments de transmissió radiofònica i generadors elèctrics...)

La problemàtica de l'univers newtonià rau en el fet que la seva aproximació matemàtica només era capaç de descriure, d'una manera exacta, el moviment de dos cossos interactuant mútuament, però no de tres o més. Els físics han pogut descobrir les òrbites de cada planeta al voltant del Sol; però el sistema solar no té un sol planeta... Poincaré aborda el problema dels tres cossos i se'n adona que sota quasi totes les condicions els esdeveniments eren com els astrònoms i físics esperaven: la dèbil força gravitatòria d'un segon planeta sobre un altre planeta o asteroide en òrbita al voltant del Sol tenia una influència quasi menyspreable; però també se'n adonà que sota certes condicions crítiques esdevenia quelcom extraordinari: les petites correccions començaren a acumular-se, realimentant-se, fins que el seu efecte total sobre l'òrbita d'un asteroide aconseguia que oscil·lés violentament i erràticament en la seva òrbita, i fins i tot que sortís del sistema solar.

- Poincaré havia ensopegat amb el caos; però aquest caos només existeix dins del sistema solar perquè tot el sistema és hol·líctic
- si els planetes fossin relativament independents uns dels altres, seria vàlid considerar els efectes d'un tercer cos com una simple pertorbació. Tanmateix, a causa dels efectes no lineals de la realimentació, els planetes no poden ser tractats com si fossin essencialment independents, segons es considerava en la perspectiva mecanicista

La **retroalimentació** pot anar-se acumulant fins que apareix una *ressonància*.

- si posem un diapasó sobre un violí mal afinat no passa res; però si la corda superior està afinada, començarà a ressonar en simpatia amb el diapasó
- si es vol pujar cada cop més amunt amb el gronxador, cal sincronitzar el moviment de les cames per tal que coincideixi exactament amb el punt màxim de cada volada

Quan els sistemes treballen en simpatia, es poden produir grans canvis dels efectes acumulatius de les petites connexions (és l'anomenat "efecte papallona" de Lorenz)

La troballa de Poincaré era una "anomalia" dins del paradigma ordenat i mecanicista. A la dècada dels setanta, quan comencen a proliferar les idees sobre la teoria del caos, es descobriren forats a la zona de l'asteroide: eren els llocs on Poincaré havia predit l'existència d'"òrbites caòtiques". Un asteroide o qualsevol altre fragment de matèria espacial que intentés habitar en una regió semblant quedaria atrapat en una xarxa de rínxols retroalimentadors; la seva òrbita s'aniria tornant progressivament més salvatge fins que, finalment, acabaria llençat cap a les profunditats de l'espai. Donat que el sistema solar és hol·lístic -amb planetes, llunes, asteroides i cometes que constantment es retroalimenten en llurs òrbites- algunes regions de l'espai s'han convertit en zones caòtiques. Són la prova que dins del cosmos, el caos i la unitat estan entrelaçats.

La unitat caòtica està plena de particularismes, actius i interactius, animats per retroalimentacions no lineals i amb la capacitat de produir qualsevol cosa, des de sistemes autoorganitzats fins autosemblances fractals, passant pel desordre caòtic imprevisible. Tot està embolicat en una caòtica autoorganització de sistemes dins d'altres sistemes.

Si mirem el nostre planeta, i observem com es va talant la selva amaçònica o com va desapareixent la capa d'ozó, la resposta mecanicista és que, si les coses s'escapen de les mans, encara podem controlar la situació replantant arbres i enviant ozó congelat a l'atmosfera. La teoria del caos ens diu que les nostres intervencions tenen límits i que el seu resultat és sempre, fins a un cert grau crucial, imprevisible. [la tala de boscos comporta la destrucció de tota una complexa xarxa de rínxols retroalimentadors]

Els processos naturals de la Terra són indivisibles i constitueixen un hol·lisme que ha de ser alimentat i mantingut. Si s'empeny el sistema massa lluny, pot trencar-se. Tot el planeta s'ha desenvolupat com un ésser viu, amb els boscos i els oceans com els seus òrgans; la constant activitat de retroalimentació a tots nivells manté la dinàmica del nostre planeta. Per això la vida és tan resistent als danys fortuïts i a les condicions canviants. Però, per això mateix, la Terra és delicada, vulnerable a l'impacte de la tecnologia humana creada a partir de la perspectiva mecanicista.

La teoria del caos ens ensenya que sempre som part del problema i que les tensions particulars i les dislocacions sempre es desenvolupen a partir de tot el sistema, mai d'una "part" defectuosa.

Els problemes mèdics, socials i individuals, tenen tots una dinàmica hol·lística. No hauríem de començar a analitzar seriosament l'engranatge de factors que, dins de la nostra societat, provoca que tanta gent jove recorri a les drogues? Si únicament examinem les cèl·lules individuals del cos i no la seva interacció retroalimentadora global, mai serem capaços d'esbrinar que el cos, com un tot, té la capacitat de regular la temperatura d'un sistema sencer de cèl·lules [és el mateix que s'esdevé en una pintura: el pintor la concep com una totalitat i no pas com una suma de parts]. Des del Renaixement, hem contemplat la nostra existència com a individus aïllats, abans que com aspectes d'una "consciència", el que som en el nostre coneixement conjunt.

Experimentar la **solidaritat** amb tot l'univers:

- té molt a veure amb el fet d'alliberar-nos a nosaltres mateixos de l'hàbit crònic de pensar que som mers fragments inconnexes.
- té a veure amb deixar de posar l'èmfasi en el jo aïllat i en la consciència que nosaltres només podem conèixer individualment, per a passar a considerar que som capaços de pensar de manera conjunta.
- té a veure amb la necessitat de deixar de veure la naturalesa com un conjunt d'objectes aïllats i experimentar que som un aspecte essencial de l'organització de la naturalesa.

- té a veure amb el fet d'adonar-se que l'observador sempre és part del que observa
- té a veure amb el fet d'abandonar aquesta obsessió pel control i la predicció, i substituir-la per una sensibilitat cap el canvi
- té a veure amb una nova comprensió del temps
- té a veure amb la utilització de la influència subtil per a convertir-nos en partícips del planeta, abans que en els seus gerents

Cada individu i cada grup d'individus es poden veure com a metàfores i fractals a través dels quals s'expressa la totalitat.

La teoria del caos té a veure amb la incapacitat per a predir i controlar, amb la incapacitat per a fer una descripció completa, amb allò que hom anomena "la informació absent"

Possiblement, allò que estem buscant no es troba en cap resposta, sinó en el centre de la pregunta, en l'abisme de la informació absent...

John Briggs i F. David Peat (1999), *Las siete leyes del caos*. Barcelona. Grijalbo.

Llei del vòrtex. Llei de la influència subtil. Llei de la creativitat i la renovació col·lectives. Llei del que és simple i del que és complex. Llei dels fractals i la raó. Llei del rínxols fractals de la durada. Llei del corrent d'una nova percepció.

Introducció als sistemes complexos

http://en.wikipedia.org/wiki/Complex_systems

<http://www.redcientifica.com/doc/doc200303050001.html>

Durant els anys 1980 va esclatar l'interès de l'estudi dels sistemes complexos –sistemes en els que apareixen patrons de comportament a partir de les interaccions entre les parts més senzilles. Aquest interès va ser degut en part als avenços teòrics i la disponibilitat de noves eines computacionals capaces de resoldre formulacions matemàtiques sense solució analítica coneguda (cas de molts sistemes dinàmics no-lineals). Les recerques sobre el caos, l'auto-organització, els sistemes adaptatius i les dinàmiques no-lineals són part d'aquest interès més ampli en les noves "ciències de la complexitat".

L'exploració dels sistemes complexos va topar amb alguns dels aspectes més profunds en la ciència i en la filosofia - l'ordre contra el caos, l'aleatorietat contra el determinisme, sistemes auto-organitzats contra sistemes centralitzats. En el pensament de molts, l'estudi de la complexitat no és només una branca de recerca; és una nova manera de pensar per fer ciència en els seus tres àmbits (cada dia més interrelacionats); abandonant visions reduccionistes per visions holístiques, tant per ciències físiques com naturals i socials:

Les Ciències Físiques (Massa, Energia)

Les Ciències Naturals (Organismes vius i ecosistemes)

Les Ciències Socials (Organismes intel·ligents i grups)

Comportaments estables, periòdics, complexos i caòtics.

Mentre els científics han mirat el món durant molt de temps en termes de causa i control centralitzat, les noves ciències de la complexitat emfatitzen que l'ordre pot ser també el resultat de sistemes descentralitzats i espontanis, capaços d'auto-organitzar-se si estan sotmesos a condicions de contorn adients.

Un sistema complex és aquell en el que interactuen molts agents intel·ligents al llarg del temps, sotmesos a certes condicions de contorn, i on les decisions les prenen adaptativament, en base als seus propis objectius i al seu coneixement del funcionament del sistema, inevitablement basat en informació local i conjuntural.

Un sistema complex (tot i que no tingui cap element d'aleatorietat) pot evolucionar cap a diferents comportaments:

Estable (tendeix a l'equilibri)

Periòdic (tendeix a repetir cicles)

Complex (si bé sempre totalment aleatori i imprevisible, existeix un patró d'ordre "ocult" que pot descobrir-se per exemple emprant descomposicions en Sèries de Fourier)

Caòtic (l'evolució és aleatòria, tot i que el model matemàtic sigui determinista; a partir d'una sèrie històrica no es pot preveure quina serà l'evolució futura: qualsevol aproximació és tan bona com un valor escollit a l'atzar).

Un sistema obert tendeix espontàniament al desordre, mesurat com un augment d'entropia, excepte quan rep energia de l'exterior i està sotmès a condicions de control estrictes, en aquest cas podria auto-organitzar-se.

Aquest és el cas, per exemple, de l'evolució biològica tal i com la definí Charles Darwin (petites mutacions aleatòries dels codis genètics en la reproducció dels individus acaben produint a molt llarg termini ecosistemes complexos en equilibri dinàmic, amb gran diversitat d'espècies).

Dels mètodes analítics a les simulacions numèriques

Els computadors han representat un gran punt d'inflexió en la evolució de la ciència, donat que s'han erigit en eines útils per resoldre problemes sense les solucions analítiques. Per exemple, les formulacions dinàmiques no-lineals es poden resoldre per simulació numèrica. Molt sovint, les solucions numèriques estan basades en algorismes matemàtics desenvolupats en segles anteriors (per exemple els mètodes de Liapunov per analitzar l'estabilitat de les solucions als canvis marginals de les condicions inicials). La possibilitat de resoldre models dinàmics no-lineals utilitzant els ordinadors ha eliminat la necessitat de simplificar les formulacions dels models a versions lineals (les que tenen solucions analítiques). Això ha obert el camí cap a una exploració en més profunditat de la realitat, en particular dels sistemes complexos on es necessiten models no-lineals.

Això ha provocat sorpreses: alguns models complexos poden tenir solucions simples, i també models senzills poden tenir solucions complexes. Sorprenentment, la simple iteració d'una formulació determinista (per exemple una equació logística o parabòlica) pot produir una solució complexa o fins i tot caòtica (totalment imprevisible). I existeixen patrons ocults d'ordre amb comportaments aparents caòtics. Per tot plegat, un nou centre d'atenció científic ha emergit en la ciència, que està més interessat a explorar els sistemes complexos com un tot, que reduir la complexitat esmicolant el sistema en petits elements i analitzant-los cadascú per separat. No cal dir que tot això té unes implicacions culturals molt fortes; per exemple els valors tradicionals com la uniformitat, regularitat, centralització, perfecció, predicció, ordre, equilibri i estabilitat han de sospesar-se amb nous valors com la diversitat, el dinamisme, la descentralització, l'espontaneïtat, els errors creatius, ... El "rellotge" tradicional com imatge del món Newtonià es reemplaça per la subtil "papallona". De fet, els ordinadors proveeixen proves empíriques per la evolució de la biologia evolutiva formulada per Darwin (la vida com el resultat d'un procés espontani basat en les successives acumulacions de successos estocàstics reeixits).

Més importat encara, els ordinadors representen la primera oportunitat que el ser humà disposa per tenir un interlocutor entre els homes, i entre els homes i la realitat. Els ordinadors poden recollir la informació per ells mateixos (per exemple per sensors) i aplicar el coneixement humà (models) independentment de qualsevol inclinació religiosa o artística. Els ordinadors, finalment, més que "computar" poden comunicar informació i coneixement. La integració dels elements dels ordinadors amb la TV, la ràdio, els telèfons, i la interconnexió mundial a través dels protocols de comunicació d'Internet, reflecteix aquesta evolució.

Urbanista busca matemàtic

Albert Serratosa "busca matemàtic", des de mitjan anys vuitanta, dirigia els cursos de Planificació Territorial al Col·legi d'Enginyers de Camins de Madrid i introduïa els llavors relativament nous plantejament de l'anomenada Teoria de Sistemes i els models de previsió dels transports i els territoris estaven ja en retrocés, en relació a l'època ingènua i optimista dels setanta, la dels primers ordinadors. Des d'aquella època "els urbanistes segueixen buscant matemàtic", és a dir, una teoria científica que permeti analitzar la complexitat creixent de les formes de relació humanes, resultant del creixement difús de les ciutats, els fluxos imprevisibles de la mobilitat de persones i recursos, els impactes ambientals.... En un viatge transatlàntic deu anys més tard, els autors de l'article trobaren un matemàtic danès que treballava a l'Institut Santa Fe de Sistemes Complexos, i varen re-escriure el primer article "No somos adivinos: Nuevas propuestas para la modelización del transporte y el territorio" (1996) basant-se en part en la matemàtica de l'anomenada Teoria del Caos. Durant els darrers tres anys, a l'Institut d'Estudis Territorial s'ha desenvolupat una sèrie de models de previsió i anàlisi basats en la Teoria del Caos, que s'han integrat en el Laboratori Virtual y han estat ja emprats com a material docent dins del curs Màster d'Urbanisme impartit a l'Escola d'Administració Pública de la Generalitat.

Plantejament general: Un nou paradigma científic

El desenvolupament dels ordinadors ha facilitat la solució de problemes molt costosos analíticament (p.e. l'ajust de funcions estadístiques multivariants), però els impactes culturals més rellevants dels ordinadors tenen més a veure amb els mètodes que apliquen per arribar a la solució.

Els ordinadors han fet possible l'anàlisi numèrica de sistemes no lineals (a través de mètodes de càlcul desenvolupats abans de l'existència d'ordinadors, p.e. els mètodes de Newton, Runge-Kutta...), així com anàlisis exhaustives de la sensibilitat dels paràmetres en sistemes lineals i no lineals. Els resultats d'aquestes anàlisis ha mostrat que tan els sistemes lineals poden produir comportaments caòtics, com els sistemes no lineals comportaments regulars o periòdics.

Permetre modelar sistemes complexos a partir de nous paradigmes matemàtics (teoria de grafs, mètodes de recerca operativa, teoria de cues, programació lineal i no-lineal, teoria de jocs, arbres de decisió), xarxes neuronals, lògica difusa, intel·ligència artificial.

Introduir la simulació (procés de prova-error) com a mètode d'anàlisi, ja sigui purament atzarosa (per problemes finits), guiada "exteriorment" o autoguiada (cas dels algorismes genètics).

Els resultats d'aquestes anàlisis han fet emergir una nova visió del comportament i la complexitat dels sistemes naturals i socials (anomenada Teoria del Caos, o de les Sorpreses o de la Complexitat), eliminant la fantasia mecanicista del determinisme i obrint les portes a un nou paradigma científic que s'inspira més en metàfores procedents dels sistemes complexos de la biologia i l'ecologia que de la física (les "xarxes neuronals", per exemple, són una analogia del funcionament de la ment humana, així com els "algorismes genètics" reproduïxen el mecanisme de l'evolució natural per arribar a solucions d'un problema a partir d'una població aleatòria inicial).

L'interès de preveure el futur

La predicció de catàstrofes naturals i dels cicles climàtics, així com el coneixement de la natura (de la capacitat de les llavors vegetals per diferir en el temps el creixement, especialment) ha estat imprescindible per l'organització de les activitats agràries en els primers estadis de desenvolupament. No és casualitat que les regions del planeta més desenvolupades tinguin cicles climàtics canviants però regulars al llarg de l'any; cicles que han induït secularment la necessitat de planificar la producció, l'estalvi i el consum d'aliments en relació a les demandes esperables, i en un segon estadi generar i comerciar amb els excedents. Per als humans, la necessitat de definir propòsits, preveure les evolucions futures, planificar els recursos i anticipar les accions òptimes per obtenir els propòsits prefixats, estan en la base de la supervivència primer, i del desenvolupament després. Aquesta capacitat de preveure oportunitats i amenaces futures i de planificar la transformació de l'entorn en funció de propòsits predefinits és una característica essencialment humana, que abans de científica és religiosa ("re-lligada" a la pròpia natura a la que l'home pertanyia, panteïsta per tant) i invoca el favors dels déus de les diferents mitologies.

La visió mecanicista del món plantejada per Descartes, desenvolupada en la física de Galileu i, sobretot, d'Isaac Newton, i que pot representar-se metafòricament pel moviment regular del "rellotge", fixà les bases racionalistes de la Ciència i la tecnologia moderna i preparà el procés d'industrialització conseqüent; d'alguna forma també "deslliga" l'home de la natura i la converteix en un objecte d'anàlisi objectiu. Les lleis de la mecànica newtoniana es demostren capaces de preveure la dinàmica d'un cos coneguda la seva posició, forma, densitat i moment inicial, i foren adoptades com la metàfora de coneixement i universalment aplicada en altres camps del coneixement durant segles: si es pogués tenir informació perfecta, el món seria perfectament previsible. En el camp de les ciències socials, si els homes fossin "racionals", a més de perfectament informats, el seu comportament-resposta a un estímul extern també seria previsible. Les mateixes fórmules de la gravetat newtonianes estan, per exemple, en la base

dels models emprats per generar fluxos entre orígens i destinacions en els models de transports coneguts com de "quatre temps" (el flux entre dos punts és directament proporcional al producte de les masses respectives –mesurades en termes de llocs de treball i habitants– i inversament proporcional a la distància en temps que els separa).

La mecànica newtoniana i les equacions electromagnètiques de Maxwell han estat durant dècades models quasi-perfectes, en gran part degut a la seva eficàcia predint el comportament de sistemes reals com aproximació acceptable de les condicions ideals que els models requereixen. L'evolució de la física ha portat cap a un creixent interès per l'anàlisi pormenoritzada dels elements fonamentals inclosos en els sistemes (l'àtom). La Mecànica Quàntica engloba tant la mecànica clàssica de Newton com la Relativitat d'Einstein (Mecànica quàntica a la velocitat de la llum).

Els avenços en l'anàlisi del funcionament de les mínimes unitats de matèria (l'àtom i les seves partícules) o de vida (la cèl·lula, la descodificació del ADN) ha aportat solucions extraordinàries a preguntes seculares, fins el punt que alguns autors arriben a especular sobre la fi de la Ciència tal i com l'hem coneguda, una recerca per descobrir i revelar la veritat del món (Horgan, 1997) i plantegen l'anàlisi de sistemes complexos i les teories del caos o les catàstrofes o els fractals, com a simples divertiments, excursions lúdiques al final del procés.

La Teoria del Caos

Els inicis de l'anomenada Teoria del Caos (o de la Complexitat), venen associats a la disponibilitat d'ordinadors capaços d'analitzar, per mètodes numèrics, equacions diferencials no lineals (es a dir, d'equacions que regeixen la dinàmica temporal de sistemes que evolucionen sense proporcionalitat als seus estímuls exteriors). Abans que els primers ordinadors fossin desenvolupats (durant els anys cinquanta i seixanta), els models no lineals eren ja perfectament coneguts, i també els seus problemes d'estabilitat; fins i tot els mètodes d'anàlisi després dels treballs d'Einstein (Relativitat) i Schrödinger (Mecànica Quàntica) només eren necessaris instruments de càlcul potents com els ordinadors per iniciar l'exploració de models no lineals (1). Els resultats d'aquesta exploració, les implicacions culturals que hi estan relacionades, i no tant el fet que es produís, és el que resulta nou. L'anomenada Teoria del Caos no és més que l'anàlisi per mètodes convencionals de dinàmiques no lineals. La majoria dels científics lamenten que el nom s'imposés després de la publicació de *Chaos*, el bestseller de James Gleick.

Fenòmens prou coneguts i observables en la natura des de sempre, com la viscositat i turbulència dels fluids, la plasticitat i histèresi o el pandeig dels materials, les redundàncies i altres, clarament mostraven els límits de la capacitat de previsió dels models mecanicistes de Newton, altrament vàlids en un món d'objectes "normals" comportant-se amb "normalitat". En el món "normal", amb informació perfecta sobre la posició, la forma i la composició d'un objecte, el poder de previsió sobre les seves evolucions sotmès a forces exteriors seria absolut. El "rellotge" era el paradigma d'un món regular, previsible, estable i en equilibri, evolucionant amb precisió mecànica. L'assumpció més lògica era suposar que els fenòmens no lineals més complexos, situats lluny de l'equilibri, serien més difícils de comprendre i modelar, requeririen explicacions tan complexes com les seves equacions, no resolubles per mètodes analítics.

Alguns autors, com Capra (1997) arriben a suggerir les relacions entre els viatges amb LSD als seixanta amb el barroquisme fractal o la cerca de veritats més enllà de l'aparença del món. La combinació entre les divagacions dels seixanta i la informàtica ha provocat un espai de creativitat inesperat. El propi Tim Leary, profeta del LSD, volia tenir una mort interactiva a través d'Internet. Però el que resulta curiós i ha provocat el major impacte d'aquestes excursions no són les motivacions perquè es realitzessin, ni els medis tècnics que els fan possible, sinó els seus resultats sorprenents.

Sovint hom explica la sorpresa del físic Edward Lorenz el 1960, quan va anar a recollir els resultats de les simulacions del seu nou ordinador, un aparell enorme de tubs al buit, anomenat Royal McBee que tenia aparcada en el seu propi despatx al M.I.T. Segons Gleick (1987) Lorenz va comprovar com petits canvis en els paràmetres de les seves equacions provocaven

solucions estranyes, funcions bellíssimes que es retorçaven sobre elles mateixes en dos bucles, i que en principi va atribuir a errors de programació o de càlcul, però que en les seves pròpies paraules eren "seemingly random and unpredictable behaviour that nevertheless proceeds according to precise and often easily expressed rules" (Lorenz, 1993): Les solucions aparentment aleatòries i imprevisibles del seu sistema d'equacions no lineal seguien regles precises i senzilles, tenien una forma identificable que anomenà "papallona".

D'una banda, l'anomenat "efecte papallona" de Lorenz mostra que, efectivament, petits canvis en les condicions inicials (el vol d'una papallona al Brasil) pot provocar canvis no lineals (un tornado a Texas). D'altra banda, i més important, mostra que la inestabilitat segueix una forma peculiar, té una estructura, un patró d'ordre, explicable. Encara que no es pugui preveure una solució única, l'univers de solucions té una estructura que sí que es pot preveure. Així, de l'èmfasi en la predicció es passa a l'èmfasi en la comprensió. Aquest element és especialment revolucionari, ja que un dels èxits majors de la física d'aquest segle, la Mecànica Quàntica, uneix la seva extraordinària capacitat predictiva a la seva gran dificultat de comprensió, que en els seus aspectes més profunds escapa fins i tot als seus autors (Glen-Mann, 1994).

En la mateixa època que les papallones varen aparèixer a Lorenz, Benoit Mandelbrot va tenir una sorpresa similar al centre de recerca d'IBM a Yorktown Heights, mentre analitzava les evolucions històriques dels preus del cotó; malgrat que les distribucions dels preus eren erràtiques, els seus canvis relatius a diferents escales temporals (oscil·lacions diàries i setmanals) eren estranyament coincidents. Fenòmens aparentment imprevisibles i erràtics tenien, no obstant, patrons d'ordre subjacents que es mantenien invariants a diferents escales (4).

Més endavant, Mandelbrot va descobrir el que s'anomenen "fractals", objectes gràfics extraordinàriament complexos generats per la simple repetició de regles matemàtiques molt simples, i que presenten simetries d'escala.

Richard Dawkins (1996) ha emprat recentment una simulació fractal per il·lustrar la teoria de l'Evolució de Darwin (2), mostrant com, a través d'un procés de selecció acumulat ("cumulative selection") és possible generar sistemes tan complexos com sers vius superiors a partir d'acumular un nombre prou elevat de canvis i mutacions elementals. Els éssers més eficients es reproduïen en major nombre que els menys eficients, transmetent en la mateixa proporció els seus codis genètics que acaben per ser els dominants. Malgrat que les mutacions puguin ser inicialment degudes a canvis aleatoris sense propòsit predefinit, poden acabar per ser les dominants si resulten més eficients en el seu medi. Aquest procés dinàmic de selecció acumulada, capaç de generar la major complexitat a partir d'iterar regles aleatòries simples, suposa per ella mateixa una nova metàfora científica, un nou paradigma de comprensió de la natura radicalment diferent del paradigma mecanicista. És avui la biologia i l'estudi dels éssers vius (els sistemes més complexos de la natura) i no tant la física, l'àrea de coneixement capaç de proporcionar les visions i metàfores més enriquidores per la comprensió del món. La natura ens apareix molt més complexa del que ens pensàvem, però la seva comprensió pot arribar a ser més molt més simple (3).

Ilya Prigogine, a "putting the pieces back together" contribueix al moviment de síntesi en la Ciència: la suma de les parts és diferent del conjunt perquè hi ha propietats que emergeixen amb l'escala, malgrat estiguin implícites en cada element. Al mateix temps hi ha patrons d'ordre invariants amb l'escala.

D'acord amb la Teoria de l'Evolució de Darwin i les reformulacions de Dawkins i Gould, un procés de "selecció acumulada", d'ínfimes mutacions genètiques aleatòries, ha estat capaç de generar els sistemes vius que coneixem, sense que existís a l'inici del procés cap pla predefinit ni en l'actualitat sigui possible predeterminar l'evolució futura. Aquesta visió és radicalment diferent de la proporcionada pel paradigma de la física clàssica inspirat per la Mecànica de Newton.

Segons el paradigma científic i racionalista de Galileu, Newton i Descartes, les lleis de la natura són deterministes (p.e. la llei de la gravetat) i, per tant, en la hipòtesi d'una informació perfecta, són capaces de preveure el futur amb precisió. El paradigma mecanicista, generat al segle XVII, no fou desafiat fins la formulació de les anomenades físiques de les "Altes Energies", la Relativitat d'Einstein en la primera part del segle XX, i més tard per la Mecànica Quàntica. Com a resultat d'aquestes reformulacions teòriques, el món ens apareix avui molt més complex del

que els paradigmes mecanicistes ens deien, però, i aquesta és la major revolució que l'anàlisi numèric de sistemes no lineals ha mostrat, les causes que hi ha al darrera poden ser molt més simples i seguir patrons d'ordre que poden identificar-se. Models simples poden provocar resultats complexos.

En qualsevol cas la recerca de les lleis universals que regeixen el comportament de la natura i la societat ha estat una preocupació humana constant i ho seguirà sent; el coneixement de l'entorn i la previsió de les amenaces potencials està directament relacionada amb les oportunitats de supervivència i desenvolupament.

Definició de sistema complex

S'entén per sistema "complex" aquell que compleix les següents condicions:

- Existència d'un nombre molt elevat i heterogeni d'agents interactuant en un mateix entorn (mol·lècules, empreses, espècies vegetals, electrons...)
- Caràcter "intel·ligent" i "adaptatiu" dels agents: els agents segueixen regles de comportament prefixades, en principi relativament simples ("schematas"), però que poden modificar-se en funció de la seva percepció de l'evolució del sistema.
- Les decisions dels agents es prenen individualment (i per tant es basen en informació local, del "lloc" i el "moment" en que cadascun es trobi)

El comportament dels sistemes complexos

La interacció de multitud d'agents lliures genera sistemes complexos fins i tot si les regles de comportament de cada agent són molt simples. L'evolució global d'un sistema complex presenta les següents característiques:

- Comportament paradoxal: a determinats estímuls de l'entorn la resposta del sistema pot ser contradictòria amb l'esperada intuïtivament (p.e. restriccions de trànsit per reduir la pol·lució –vehicles de matrícula parella només circulen els dies parells– poden provocar costos ambientals majors –apareixen vehicles antics de matrícula parella molt més contaminants–).
- Inestabilitats i no linealitat causes/efectes: Petites modificacions de l'entorn poden provocar grans impactes (p.e. les lleis d'arrendaments urbans)
- Comportament no modelitzable amb caràcter general (p.e. el peatge en les autopistes com a factor distorsionant de la mobilitat i la localització empresarial, encara que el seu cost real sigui molt menor al percebut; p.e. atractius de localització basats en el "prestigi" tradicional del lloc, p.e. avaluacions del cost ambiental d'externalitats)
- Interdependència: El comportament no pot ser subdividit en parts. La suma de les parts és diferent del total (p.e. efecte "xarxa" en conjunts de línies de serveis o transport adequadament interconnectades)
- Emergència d'ordres auto-organitzades (p.e. cerca d'itineraris alternatius no-congestionats pels conductors, arribant a redistribucions de tràfics de major entropia)

Control d'un sistema complex

La lliure evolució d'un sistema complex no garanteix la seva estabilitat ni que aconsegueixi arribar a estats d'equilibri, però pot comprovar-se que sistemes tan complexos com la vida (segons les teories de l'evolució de Darwin) segueixen evolucions "dinàmicament estables" si existeixen llinars o condicions permanents de l'entorn que restringeixen el camp de possibilitats del sistema (les posades de manifest per Darwinks ó Kauffman, de tipus fisicoquímic, p.e. la capacitat suportant d'activitats d'un sistema –"carrying capacity"– , tipus

escassetat de sòl o d'habitatge, com a factor limitant via elevació de preus i redefinició de la demanda).

No és necessari per tant tenir un programa prefixat de govern dels agents del sistema per garantir la seva estabilitat: processos reiterats de mutació aleatòria, variació i selecció acumulada són capaços de generar evolucions estables, com mostren els sistemes biològics, si hi ha límits i llindars a l'entorn que impedeixin tendències no sustentables. D'altra banda, aquest programa de control del sistema via el control dels agents i de les seves regles de comportament individuals resulta impracticable en sistemes complexos.

Conclusions: Canvi de paradigma

El món "Rellotge" (Mecanicisme físic)	El món "Papallona" (Complexitat ecològica)
Racionalitat	Intuïció
Anàlisi	Síntesi
Reduccionisme	Holisme: Reduccionisme per nivells jeràrquic
Linealitat	No linealitat
Regularitat	Irregularitat
Concreció-Abstracció	Abstracció-Concreció
Jerarquies arbòries	Estructures en xarxa
Problemes de funcionalitat	Esquemes de forma
Singularitat	Multiplicitat
Precisió analògica d'un original	Duplicació digital
Uniformitat	Diversitat
Centre	Frontera, perifèria
Centralitat	Descentralització
Independència	Interdependència
Imposició	Negociació
Juxtaposició	Superposició
Seqüències temporals	Distribucions espacials simultànies
Infinitud	Límits

Notes

(1) De fet, l'estudi teòric de l'estabilitat de les solucions d'equacions diferencials lineals i no lineals a canvis en les condicions inicials o en les condicions de contorn ja havien estat iniciats prèviament a l'aparició de les computadores pel propi Issac Newton (1671), creador de les equacions fonamentals de la física mecànica i del càlcul infinitesimal, desenvolupat posteriorment per Liapunov i altres; fins i tot els mètodes numèrics havien estat ja proposats segles abans, per exemple per Euler (1768). Acheson (1997) proporciona una interessant recapitulació històrica amb l'anàlisi de casos concrets

(2) El model informàtic de Dawkins parteix d'una forma embrionària que és simplement un arbre d'un tronc i dues branques; les mides i angles són paràmetres de forma que Dawkins assimila als "gens" que controlen el creixement fractal de l'embrió (cada branca de l'arbre inicial es considera tronc d'un nou arbre de dues branques i així successivament fins un nombre d'iteracions prefixada). Les formes "adultes" resultants són formes d'enorme complexitat, que es reproduïxen creant nous embrions (nous arbres elementals). Dawkins permet "errors aleatoris" en el traspàs de la informació genètica, simulant les mutacions naturals, i estableix la supervivència de cada individu de la població en base a criteris arbitraris de forma.

(3) Per exemple, l'estructura d'informació continguda en les cèl·lules, la unitat mínima de vida, es basa en models digitals o discrets: les cadenes d'ADN codifiquen per grups seqüencials de tres molècules que poden ser només de quatre tipus. D'acord amb Dawkins, espècies de vida tan "primitives" com les amebes tenen més informació emmagatzemada que 1.000 Enciclopèdies Britàniques.

(4) Hi ha força teories empíriques, o "números màgics" en la natura. Per exemple l'anomenada Llei de Zipf, que permet calcular la magnitud relativa dels nivells jeràrquics en sistemes tancats, ja siguin poblacions de ciutats, d'animals d'espècies diferents etc. Mandelbrot va ocupar-se de millorar aquesta llei afegint dues constants que permeten ajustar els valors òptimament a un conjunt de dades reals.

Bibliografia

Acheson, David (1997), "From Calculus to Chaos", Oxford University Press

Dawkins, David (1996), "The Blind Watchmaker: Why Evolution Reveals a Universe without design", W.W.Norton and Cia.

Casti, John L. (1996), "Would-be Worlds: How simulation is changing the frontiers of science", Wiley and sons.

Gleick, James (1987), *Caos, la creació de una ciencia*. Barcelona. Seix barral. 3ª ed. 368 pàgs.

Hayles, N. Katherine (1993), *La evolución del caos: El orden dentro del desorden en las ciencias contemporáneas*. Barcelona. Gedisa. Col. Límites de la ciencia. 384 pàgs.

Prigogine, Ilya et. alt. (1984), "Order out of Chaos", Bantam Books,

Prigogine, Ilya (2008), *Las leyes del Caos*. Barcelona. Crítica. 160 pàgs.

Prigogine, Ilya i Nicolis, Gregoire (1997), *La estructura de lo complejo*. Madrid. Alianza ed. Col. Alianza universidad. 2ª ed. 392 pàgs.

Lorenz, Edward (2000), *La esencia del caos*. Barcelona. Debate. Col. Debate pensamiento . 236 pàgs.

Wagensberg, Jorge (2002), *Si la naturaleza es la respuesta ¿cuál era la pregunta? : y otros quinientos pensamientos sobre la incertidumbre*. Barcelona. Tusquets. Col. Metatemas,75. 128 pàgs.

Wagensberg (1985), *Ideas sobre la complejidad del mundo*. Barcelona. Tusquets. Col. Fábula, 205. 174 pàgs.

Wasenberg (ed.) (1986), *Procés a l'atzar*. Barcelona. Tusquets. Col. Metatemas. 216 pàgs.

Woodcock Alexander i Davis, Monte (1986), *Teoria de las catàstrofes*. Madrid. Càtedra. Col. Teorema. 2^a ed. 184 pàgs.

Conceptes

Caos: sensibilitat a les condicions inicials

En situacions de caos, el principal problema és que hi ha una gran *sensibilitat a les condicions inicials*. Això significa que si tenim estats inicials molt propers entre sí, i calculem l'estat futur en ambdós casos, trobem grans desavinences en els resultats. És precisament això el que permet afirmar que no es pot fer predicció, ja que desviacions infinitesimals ens porten a resultats completament diferents.

Caos: atractors estranys

Un atractor estrany és la representació de la trajectòria d'un sistema en tres dimensions. Si imaginem un sistema amb tres variables x , y i z , els valors que prenen aquestes variables durant un període de l'evolució del sistema, podem representar-les com a punts en un espai, cosa que dóna lloc a l'atractor estrany. Els atractors presenten propietats fractals.

Caos: impredictibilitat determinista

En física i en la ciència en general el que sempre es pretén és poder fer prediccions, és a dir deduir l'estat futur d'un sistema a partir del seu estat passat i present. En particular, en física, s'utilitzen equacions matemàtiques per tal de portar això a terme. Les equacions permeten fer prediccions de certes variables en el temps, de forma que per a certes condicions inicials, les equacions prediuen les condicions futures, i és això el que els físics comproven per tal de validar les seves teories. El caos altera profundament la visió en que tenir unes equacions *implica* tenir predicció. La visió, de fet, ha de canviar totalment: en règim caòtic, *les equacions no ens capaciten per predir resultats futurs*.

Transicions de fase

Les transicions de fase tenen lloc quan els sistemes físics canvien de fase, és a dir, canvien d'estat macroscòpic, tal com l'aigua quan bull, que passa de líquid a sòlid, el gel passa a aigua, etc. Les propietats d'aquests sistemes en les diverses fases són molt diferents. En el punt de transició, doncs, les propietats canvien bruscament. El punt exacte a on es produeix el canvi es diu *punt crític*. En aquest punt apareixen estructures fractals i invariància d'escala.

Criticalitat Auto-organitzada (Bak, Tang, Wiesenfeld)

Els fenòmens crítics són un cas particular del fenomen més general de transicions de fase. És ja una observació coneguda que molts sistemes complexos aprofiten les transicions de fase perquè és en els punts crítics a on es produeixen efectes desitjats com adaptabilitat, transferència d'informació, etc. Però, com s'aconsegueix estar en un punt crític quant és molt difícil controlar els paràmetres que hi porten? La resposta està en els sistemes *crítics auto-organitzats*, que controlen els seus paràmetres per tal de *tendir sempre al punt crític*. Quan aquests sistemes s'allunyen una mica en una direcció, certa força els empeny en la direcció contrària.

Fractals

Els fractals són objectes geomètrics. La seva propietat fonamental és que són objectes *independents de l'escala*, és a dir, un canvi d'escala els deixa inalterats. La importància dels fractals ve del fet que apareixen en sistemes físics en punts crítics, vora transicions de fase, i estan relacionats amb el caos. Els fractals poden ser de dos tipus, regulars o irregulars. En els regulars, la imatge amb canvi d'escala és idèntica a la de l'escala superior, en canvi en els irregulars això no es compleix rigorosament.

Fenòmens Emergents

Per fenomen emergent entenem el fet que en un sistema succeeixen fenòmens a un cert nivell descriptiu que no es poden explicar coneixent els detalls d'un nivell inferior. Per dir-ho d'una altra manera, en certs sistemes, *el tot és més que la suma de les parts*. Aquesta és una idea clau en el camp dels sistemes complexos i en particular implica un cert grau de impredictibilitat que ha fet la simulació per ordinador tant important en aquest camp. És en aquest punt on el model *reduccionista* deixa de funcionar. Per comprendre el sistema com un tot, l'enfoc típic de dividir el problema en parts i estudiar les parts detalladament no condueix a l'èxit.

Intel·ligència col·lectiva

Un sistema compost per agents sense intel·ligència (incapaços d'aprendre de la seva experiència i adaptar les seves decisions a situacions diferents) pot resultar intel·ligent. Se sol dir que "la natura sempre troba el seu camí" el sentit que les espècies evolucionen "adaptant-se" al seu entorn sense que existeixi necessàriament cap pla preconcebut, ni els individus en siguin conscients (segons Darwin, mutacions fortuïtes en les duplicacions genètiques creen nous tipus d'individus per atzar que, si resulten més exitosos en el seu entorn, es reproduïxen més que la resta i al cap d'un nombre suficient de generacions dominen l'espècie). Un grup de formigues amb regles fixes pot resultar sempre eficient trobant fonts d'aliment no tant per la intel·ligència inexistente de cada formiga sinó per la interacció entre totes elles. A l'inrevés, un sistema compost per individus intel·ligents pot resultar poc o gens intel·ligent (per exemple la lliure interacció en els mercats econòmics necessita l'acció "estabilitzadora" d'institucions públiques per evitar cicles d'eufòria o depressió excessiva, o els automobilistes captius dels seus hàbits provoquen períodes de congestió de trànsit i períodes on les vies resten pràcticament buides).

Indecibilitat i intractabilitat

En teoria de la computació hi ha problemes indecidibles. Això significa que no es pot fer cap càlcul que faci de dreuera i permeti de forma analítica determinar el resultat d'infinits casos inicials. Per tal de determinar l'evolució de sistemes indecidibles, és necessari seguir l'evolució del sistema pas a pas. El fet de que no es pot fer predicció implica que el seu estudi és molt més complicat. En particular, és imprescindible tenir un ordinador, perquè és la única eina que ens permet calcular estats futurs de forma ràpida.

La complexitat com a resultat d'un gran número de petits passos estocàstics

La complexitat és el resultat més esperable d'una seqüència de petits passos en els quals hi hagi una component aleatòria i que estigui subjecte a unes restriccions de contorn estables. Aquest és el model explicatiu proposat per Darwin en relació a l'evolució biològica. Errors aleatoris produïts en la duplicació dels codis genètics de pares a fills provoquen mutacions que, si es demostren més adaptades a les condicions de l'entorn on operen, es desenvolupen i reproduïxen fins a fer-se dominants. Alguns pensadors neodarwinistes han defensat que els resultats de l'evolució biològica era esperable i fins i tot inevitable donades les condicions de contorn fisicoquímic en que operaven.

Errors creatius

Els errors en la duplicació genètica generen individus diferents; els errors en l'aprenentatge creen individus culturalment diferents. La duplicació perfecta crearia individus clònics, l'ordre perfecte. Al contrari, un excés d'errors crea el caos, sers vius monstruosos. Els sistemes complexos són els que tenen un nombre d'errors suficients com perquè el sistema sigui capaç d'explorar alternatives i descobrir paradigmes diferents, però no excessius com per garantir l'estabilitat del sistema. El percentatge que es dedica a la investigació és un indicador del nivell màxim d'errors que la societat es permet: Societats sense investigadors no poden progressar, societats amb un excés d'investigadors poden resultar inviables.

Límits de la predicció científica (turbulència, platicitat, coloïdes) (Laplace, Holland)

Els sistemes complexos són essencialment imprevisibles, en el sentit que no es pot preveure amb precisió l'estat en que es trobarà el sistema en cada moment del temps; això no vol dir, però, que no puguin preveure's ni explicar-se els patrons de regularitat. D'altra banda, en alguns casos, els sistemes complexos evolucionen cap a "atractors estranys", configuracions periòdiques o estables. Si bé els règims laminar de fluids, elàstic dels materials resistents, sòlid, líquid o gas per les substàncies, són relativament previsibles en forma agregada, fora d'aquests règims ordenats la predicció esdevé menys precisa, més relativa a l'estructura permanent del sistema que a la seva configuració concreta en un moment determinat.

La incertesa de la mesura porta a evolucions imprevisibles a llarg termini

Les mesures que observem de la realitat tenen un marge d'error inevitable i difícil de quantificar. Els sistemes complexos (regits per dinàmiques no-lineals) tenen una gran sensibilitat a les condicions inicials, i és possible que les prediccions resultin grollerament errònies només per petits errors, aparentment insignificants, en la mesura de l'estat inicial. En ciències socials, on l'observació i mesura es veu molt més limitada que en ciències naturals i físiques aquest fet per si mateix suposa una limitació òbvia a la capacitat predictiva dels models.

Inestabilitat dinàmica

Els models explicatius més comunament emprats es basen en suposar unes condicions ideals en les que existeix un equilibri permanent. Els sistemes complexos, però, no poden estudiar-se sense fer explícit les evolucions al llarg del temps, en les quals l'equilibri és dinàmic; el sistema evoluciona seguint una trajectòria de punts successius d'equilibri "en la frontera entre l'ordre i el caos". Des d'aquest punt de vista, els sistemes complexos es mantenen permanentment en canvi, inestables, i evolucionen al llarg d'itineraris d'equilibri que poden ser tan continus com discrets: una modificació brusca de les condicions de contorn pot provocar una situació d'estabilitat temporal lluny de l'equilibri previ.

Teoria de catàstrofes (R. Thom)

La teoria de las catàstrofes va ser inventada per el matemàtic francès René Thom. Suposa una nova manera de contemplar els canvis bruscos, allà on es presentin: a la natura, a la societat, o a la nostra ment. En un camp com les Ciències Humanes, tan relliscós per el anàlisis, la Teoria de les Catàstrofes o dels canvis sobtats ha proporcionat eines per afrontar qüestions molt variades: quan esclatarà un motí a una presó; quan hi haurà una davallada de la Borsa, o en que moment hi haurà un desequilibri psicològic. Aquesta teoria funciona per la transformació de conceptes abstractes en unes formes geomètriques específiques (les anomenades catàstrofes).

Auto-organització espontània

L'autoorganització espontània no està garantida en sistemes complexos, però és possible, per exemple en casos de criticalitat. En gran part, l'autoorganització depèn de les condicions de contorn del sistema (sistemes amb límits i restriccions de creixement tendeixen més fàcilment a autoorganitzar-se en forma estable o periòdica) i del tipus de relacions que mantinguin els elements del sistema (sistemes interconnectats en xarxa on la informació flueix tendeixen més fàcilment a autoregular-se que sistemes jerarquitzats o desconnectats).

Ordre inevitable sota restriccions ambientals

Kauffman i altres científics han mostrat la inevitabilitat de l'evolució biològica tal i com la coneixem degut a condicions físiques i químiques que han regulat efectivament i d'una forma permanent l'evolució. Aquesta possibilitat indica que és possible pensar en sistemes socials comportaments autoreguladors espontanis (per exemple migracions, reducció natalitat, epidèmies, guerres... en cas de sobrepoblació i de condicions límit d'aliments) o forçats artificialment (per exemple regulacions de la densitat màxima d'ocupació del sòl o de la capacitat portant d'una zona)

Existència de condicions estables lluny de l'equilibri

Els sistemes complexos poden presentar condicions estables lluny del punt d'equilibri que tenen en un moment determinat. Per exemple, una vaga de metro durant una setmana o dues provoca una distribució diferent del trànsit en la ciutat i quan s'acaba la vaga aquesta nova situació es manté estable durant un temps abans de començar a retornar a l'equilibri anterior, si es que ho fa. Prigogine ha trobat comportaments termodinàmics similars. En càlcul d'estructures resistents, els equilibris estàtics i plàstics poden estar molt allunyats entre si.

Retorns creixents en processos dependents del camí

Les teories econòmiques convencionals es basen en la idea dels retorns que disminueixen. A mida que augmenta el nombre de persones que consumeixen un determinat producte (p.e. automobilistes en una carretera), la satisfacció d'elles disminueix. A mida que s'augmenta la inversió en capital i recursos humans per produir un determinat bé, la rendibilitat d'augmentar-los marginalment decreix. Aquest fenomen facilita que hi hagin punt d'equilibri òptims, en els que el cost marginal d'un producte sigui el preu de mercat, aquell que maximitza alhora l'excedent del consumidor i el benefici del productor. Aquests punts d'equilibri són per definició independents del camí temporal seguit fins arribar-hi. En l'actual economia del coneixement, succeeix que el consum i la producció de coneixement no té rendiments decreixents sinó que en tot tenir creixents: quantes més persones coneixen un determinat personatge o esdeveniment, més valor adquireix; la informació, per fet de compartir-se, pot generar més valor.

Complexitat derivada de la simplicitat en la evolució natural (Dawkins)

D'acord amb Darwins, pensador neodarwinista, canvis simples repetits al llarg del temps a nivell de cada individu provoquen sistemes complexos a nivell d'espècie o de sistema agregat. Canvis simples individualitzats provoquen patrons regulars complexes a nivell agregat.

Estratègies dinàmiques de Cooperació i Competència (Axelrod)

En sistemes socials, els individus tant cooperen com competeixen; aquest comportament és de fet típic que qualsevol sistema complex on els individus prenen decisions adaptatives al llarg del temps en funció dels seus objectius (supervivència, benestar) i de la seva percepció (local, conjuntural) de l'evolució del sistema.

Selecció d'adreces d'Internet sobre el caos i els fractals

<http://sprott.physics.wisc.edu/fractals.htm> Extensa galeria d'imatges fractals. Molt recomanable.

<http://hypertextbook.com/chaos/>

La més extensa de les pàgines sobre la Teoria del Caos que hem trobat. La veritat és que té de tot. És un llibre de text virtual que conté moltíssimes imatges, videos, i links.

<http://www.btinternet.com/~jediboba/fractals.htm>

És reduïda, però les poques imatges de fractals que conté són molt espectaculars.

<http://server.ccl.net/cca/documents/dyoung/topics-framed/converge.shtml>

Web teòrica sobre sistemes no-lineals, convergència i Teoria del Caos.

<http://www.maths.ox.ac.uk/~mcsharry/math.html>

Links diversos de Teoria del Caos, predicció del temps i predicció financera.

<http://order.ph.utexas.edu/chaos/index.html>

Curset curt sobre nocions bàsiques relacionades amb el Caos. El disseny cansa molt per navegar

<http://library.thinkquest.org/3493/noframes/chaos.html?qskip=1>

Tot i que s'ha de redigir (premeu allà on hi posa "Click image for the site you have requested", la pàgina conté informació sobre Teoria del Caos, Sistemes Dinàmics i Geometria Fractal.

<http://www.espectador.com/text/cyt07151.htm>

Entrevista sobre el Caos amb el Doctor (en Matemàtiques) Roberto Markarián.

Robert L. Devaney: The Fractal Geometry of the Mandelbrot Set

<http://math.bu.edu/DYSYS/FRACTGEOM/FRACTGEOM.html>

Chaos at Maryland <http://www-chaos.umd.edu/>

Classical and Quantum Chaos <http://www.nbi.dk/ChaosBook/>

CompLexicon. Conceptes definits per l'Exploratorium

<http://www.exploratorium.edu/complexity/CompLexicon.html>

The Computational Beauty of Nature

<http://mitpress.mit.edu/books/FLAOH/cbnhtml/>

Continued Fractions and Chaos

<http://www.cecm.sfu.ca/organics/papers/corless/index.html>

The Dynamical Systems and Technology Project at Boston University

<http://math.bu.edu/DYSYS/>

Nonlinear Dynamics <http://archives.math.utk.edu/topics/nonlinearDynamics.html>

Society for Chaos Theory in Psychology & Life Sciences <http://www.societyforchaostheory.org/>

La teoria del caos <http://elcaos.tripod.com/index.html>

Adreces d'Internet sobre fractals

Cynthia Lanius

<http://math.rice.edu/~lanius/frac/>

Galería de Fractales

<http://idd01jia.eresmas.net/index.htm>

The Spanky Fractal Database

<http://spanky.triumf.ca/>

Página principal de Fractint

<http://www.fractint.org>

Jean-Francois Colonna

<http://www.lactamme.polytechnique.fr/>

The Fract-ED Information Pages

<http://www.ealnet.com/ealsoft/fracted.htm>

Fractalus

<http://www.fractalus.com/>

BRAZIL FRACTAL BUILDER. Fractal objects generator

http://www.geocities.com/CapeCanaveral/Lab/1837/index_a.html

Fractal Explorer

<http://www.geocities.com/CapeCanaveral/2854/>

Fractals World

<http://www.geocities.com/SoHo/Studios/6648/fractalslinks.htm>

Fractal World

<http://www.kcsd.k12.pa.us/~projects/fractal/>

3ALine

<http://www.seraline.com/3aline.htm>

Ultra Fractal

<http://www.ultrafractal.com/>