

# CAP A LA INTEL·LIGÈNCIA ARTIFICIAL

per

*JAUME AGUSTÍ I CULLELL*

Centre d'Estudis Avançats de Blanes

La gran importància que té la informàtica en les transformacions del món actual no passa desapercebuda a ningú. La informàtica, juntament amb les telecomunicacions, s'està convertint en el sistema nerviós central de la nostra societat. Resulta, doncs, d'una gran utilitat considerar encara que sigui breument la seva evolució històrica, les seves tendències actuals i la seva perspectiva de futur si volem comprendre tots aquests canvis que ens afecten tant.

El desenvolupament de la informàtica ha estat rapidíssim, comparat amb el d'altres tecnologies. En els seus quaranta anys d'història, la seva capacitat s'ha multiplicat per deu cada cinc anys. Pensem que si els cotxes haguessin millorat en preu i qualitat com ho han fet els ordinadors, avui tindríem cotxes per cent pessetes, amb velocitats de fins a 1.000 km/h, que gastarien un litre de benzina cada 10.000 km i gairebé no tindrien avaries durant 10.000 anys.

Que aquest desenvolupament de la informàtica hagi estat tan ràpid i espectacular no vol dir que hagi estat fàcil. Hom ha hagut d'enfrontar-se amb molts reptes i se n'hauran d'enfrontar molts més per mantenir aquest ritme de creixement. Per exemple, en l'aspecte científic-tècnic de la informàtica l'esforç és enorme: hom investiga alhora moltes possibilitats de progrés, de les quals només algunes tindran èxit. Com a conseqüència, en el terreny social resulta difícil de trobar bons professionals en les diferents especialitats informàtiques i hom s'ha d'enfrontar, doncs, al problema de llur formació o d'una reconversió des d'altres activitats. D'altra banda, els canvis en la indústria informàtica són constants: cada tres anys apareixen nous productes que superen la meitat dels que ja hi ha. Finalment, en el camp comercial, la guerra actual entre el Japó i els EUA per la conquesta dels mercats mundials pot deixar fora de joc Europa per poc que badi.

Per a descobrir l'evolució històrica de la informàtica cal considerar-ne tres aspectes o components fonamentals. En primer lloc, l'evolució ràpida dels materials informàtics —el *hardware* en anglès—, la tecnologia dels quals ha estat històricament la primera a consolidar-se al final dels anys seixanta. En segon lloc, l'avanç més dificultós de la programació d'ordinadors —el *software*—, la importància de la qual s'accentua al decenni dels setanta. I en tercer lloc, les estructures i els sistemes de la informació o de les dades, que van adquirint un paper propi i rellevant en el decenni actual dels vuitanta.

En l'evolució dels materials informàtics se solen distingir diferents etapes, anomenades generacions d'ordinadors. La primera generació (1946-52) la constitueixen els ordinadors de vàlvules de buit. L'ENIAC (1946), per exemple, capaç de fer 5.000 sumes per segon, amb una memòria de 20 números de 10 xifres, tenia 18.000 vàlvules, pesava 30 tones, ocupava tot un pis d'una escola i tenia un consum elevadíssim; a més, cada dia calia canviar-li dues o tres vàlvules foses. Avui dia, qualsevol calculadora programable de butxaca és molt més potent que l'ENIAC. La invenció del transistor marca un avenç fonamental i obre pas a la segona generació d'ordinadors (1953-65): les noves màquines transistoritzades són molt més petites, més ràpides i més de fiar. La tercera generació (1963-72) es caracteritza per la incorporació de circuits integrats: en lloc d'usar transistors aïllats i connectar-los després, tots aquests components electrònics i llurs connexions es col·loquen conjuntament sobre una pastilla de silici mitjançant tècniques fotogràfiques. La quarta generació (1973-...), la dels ordinadors actuals, es distingeix de l'anterior per la gran miniaturització o forta reducció en la mida dels circuits integrats: un milió d'elements lògics sobre una superfície de 2 mil·límetres quadrats. En aquesta època també apareix el microprocessador, un únic circuit integrat —un *chip*— que incorpora tots els elements i funcions de l'ordinador. En resum: en dos decennis la microelectrònica ha aconseguit que els materials informàtics fossin ràpids, fiables i barats, i de posar el microordinador a l'abast de tothom.

Malgrat tot, per bo que sigui el material de què són fets els ordinadors, per ell sol no serveix de gaire, perquè per a actuar l'ordinador necessita programes. Són els programes els que indiquen a l'ordinador allò que ha de fer exactament. Els ordinadors són a la informàtica allò que els instruments musicals són a la música, i la programació o *software* són les partitures. Si l'ordinador és o no una eina flexible i fàcil d'usar depèn també dels programes que tingui a la seva memòria. Però, desgraciadament, dels programes que hi ha actualment menys de la meitat són bons o tenen prou qualitat: la programació d'ordinadors no ha estat ni és una tasca fàcil.

Per solucionar els problemes que té plantejats, l'home ha desenvolupat una gran varietat de mètodes propis, amb un llenguatge i una lògica ben adaptats a cada problema. Amb l'aparició de l'ordinador, l'objectiu que hom persegueix és que ens ajudi a solucionar els nostres problemes, i per a

això li hem de donar aquests mètodes i procediments de resolució. Però, desgraciadament, l'organització, el funcionament, el llenguatge i la lògica bàsics dels ordinadors són relativament elementals i allunyats del procediment i el llenguatge humans. Per a poder usar la màquina cal, doncs, eliminar aquesta distància inicial home-màquina. Això només admet dues solucions. La primera, la més immediata i pràctica a l'espera de màquines millors, és que l'home s'adapti a la màquina. I, per desgràcia, això ha estat així durant massa temps. Durant massa temps la utilització dels ordinadors no ha estat fàcil. El medi informàtic quedava lluny de la manera de procedir humana i hom hi tenia accés per procediments relativament estranys i complicats. Calia repensar i reexpressar els procediments de resolució dels problemes en termes que la màquina pogués entendre, és a dir, en termes de seqüències d'instruccions, d'eleccions alternatives d'instruccions i de repeticions d'instruccions.

La segona solució possible i la més desitjable és d'anar acostant la màquina a l'home fins a fer que l'ús de l'ordinador sigui una experiència assequible a tothom. En aquesta direcció, d'una banda, ja els anys cinquanta hom aconsegueix que la màquina pugui entendre llenguatges més humans que el llenguatge binari de zeros i uns. Aquests llenguatges permeten de formular a l'ordinador problemes científics (llenguatge Fortran) o bé administratius (llenguatge Cobol): primer cal donar a l'ordinador uns programes anomenats compiladors que tradueixen els programes escrits per l'home en aquests llenguatges d'alt nivell, al llenguatge binari que pot executar la màquina. Aquests progressos constitueixen allò que ha estat anomenat la primera generació del *software*.

Ensems hom crea una sèrie de programes bàsics encarregats de gestionar les diferents parts o els diferents recursos de l'ordinador, de coordinar els seus fets i de facilitar-ne l'ús. Per exemple, gràcies a aquest conjunt de programes o sistema operatiu de l'ordinador, hom pot saber el contingut de la memòria de l'ordinador només executant una instrucció; una altra instrucció permetrà de modificar fàcilment aquesta memòria, etc. Així, els sistemes operatius, veritables interlocutors entre la màquina i l'home, s'incorporen a les màquines com a parts integrants, i milloren progressivament en el sentit de facilitar més la interacció home-màquina. Per exemple, durant el decenni dels seixanta hom aconsegueix un avenç important en els sistemes operatius: aquests permeten que l'ordinador pugui atendre diferents operadors o usuaris alhora, i que reparteixi el seu temps entre tots.

A més d'enfrontar-se a la poca docilitat de les màquines i a la poca expressivitat dels llenguatges de l'ordinador, la programació d'ordinadors ha hagut de patir els efectes de la rapidíssima evolució dels materials informàtics o *hardware*. Quan encara hom no havia aprofitat el 20% de les possibilitats de programació d'una màquina, ja n'apareixia una altra de més potent i més barata, a la qual s'havien d'adaptar els programes. A causa, doncs, de

la dificultat pròpia de la programació i de la necessitat d'adaptar els programes a noves màquines, a noves situacions i aplicacions, hom veié clarament la necessitat d'establir una metodologia de la programació. El resultat fou allò que ha estat anomenat programació estructurada, que preconitza la construcció de programes com a col·leccions molt estructurades de petits programes. És la segona generació del *software* dels anys seixanta.

El decenni dels setanta es desenvolupa la tercera generació del *software*, constituïda per nous sistemes operatius i noves eines per al desenvolupament de programes. I alhora que progressa la tendència a estructurar els programes, hom sent la necessitat d'estructurar les dades o informacions amb què treballa. Si en una etapa anterior les dades eren considerades incloses en els programes, ara el concepte d'estructures de dades o informacions comença a adquirir relleu per ell mateix. Així apareixen els que han estat anomenats bases de dades, que no són sinó estructures de la informació. Per exemple, l'estructuració de fitxers per a tenir fàcil i ràpid accés a les informacions que contenen. El sistema d'informació o base de dades fins i tot ajuda l'usuari a trobar la informació que vol, i l'evolució d'aquestes bases de dades les duu a acceptar preguntes en un llenguatge semblant al llenguatge corrent.

Actualment, la microelectrònica manté un ritme d'avenç semblant al de les èpoques anteriors. És previsible que al final del segle els components electrònics dels ordinadors seran entre 100 i 1.000 vegades millors que els actuals quant a la relació cost/efectivitat i mida/efectivitat. Malgrat tot, a partir dels anys noranta seran necessàries noves tècniques, atès que amb les actuals s'haurà assolit ja el límit de mida mínim. Les memòries de masses – els discs magnètics –, que ja han anat millorant en un factor de 4 cada 5 anys, continuaran millorant a un ritme semblant. D'altra banda, la tecnologia dels videodiscs permetrà d'emmagatzemar i manipular quantitats enormes d'informació, perquè integrarà els textos i les imatges en moviment. La utilització de fibres òptiques a l'interior dels ordinadors i entre ordinadors és una altra línia de progrés. També apareixeran nous components amb noves capacitats, per exemple matrius de sensors amb capacitat de processament i memòria integrades. El model o arquitectura d'ordinador que ha dominat fins avui, anomenat model de von Neumann, està arribant al límit de la seva velocitat i potència. Ja no és suficient per a les noves aplicacions de la informàtica. Aquest model resta limitat pel seu funcionament seqüencial: executa una instrucció darrera l'altra, cosa que li impedeix d'executar més de  $10^9$  instruccions per segon. Per a avançar més enllà d'aquest límit calen màquines no seqüencials: màquines capaces d'executar moltes instruccions en paral·lel mitjançant diferents processadors interconnectats. Per això són necessaris també nous models o procediments de manipulació d'informacions en paral·lel, i els llenguatges de programació hauran de poder expressar aquests nous procediments. I seguint aquesta evolució, el *hardware* del fu-

tur –el transputador– ja no serà un conjunt d'operacions en paral·lel –com el cub còsmic del MIT–, sinó que hom concebrà tot el sistema com un flux dinàmic de dades o informacions, governat per la mateixa disponibilitat de les dades.

D'altra banda, la informàtica i les telecomunicacions actualment convergeixen en allò que ha estat anomenat teleinformàtica o telemàtica: ordinadors interconnectats a través de la xarxa de comunicacions poden accedir a diferents tipus de serveis informàtics (teletext, videotext, etc.). En la valoració dels microordinadors actuals ja hom té en compte llur facilitat per a connectar-se a les xarxes de comunicació. En el futur podríem tenir integrats en allò que podríem anomenar teleordinador els serveis de l'ordinador, del telèfon, de la televisió...

Disposar d'un ordinador més dòcil i amistós que els actuals ja és una necessitat que s'accentuarà els anys propers. Al mercat ja han aparegut alguns ordinadors que, mitjançant gràfiques o icones, simulen l'entorn de treball de l'home, i li faciliten que triï a cada moment l'eina adequada al problema plantejat. L'home disposa de tot allò que veu representat a la pantalla mitjançant gràfics. En el futur seria desitjable d'aconseguir que la màquina admetés els mitjans d'expressió típicament humans –llenguatge corrent, parlat i escrit, imatges gràfiques, etc.–, encara que sigui d'una manera restringida.

La mateixa programació d'ordinadors ha progressat admetent més llenguatges que, en lloc d'indicar a l'ordinador què ha de fer, li descriuen o especifiquen d'una manera completa el problema que s'ha de resoldre i deixen que sigui el mateix ordinador que determini com s'ha de resoldre el problema. Per exemple, l'anomenada programació lògica –el PROLOG és un dels seus llenguatges– permet de formular explícitament a l'ordinador els coneixements necessaris per a resoldre un problema. I l'ordinador usa aquests coneixements per a resoldre el problema raonant d'una manera que simula el raonament humà. Uns altres tipus de llenguatges investigats actualment són els llenguatges orientats a les estructures complexes i dinàmiques de dades. En el futur tots aquests llenguatges s'haurien d'integrar o connectar entre ells.

La majoria de les línies de progrés de la informàtica han estat una resposta a les necessitats pràctiques d'aquesta. Però alhora hi ha hagut des de sempre corrents més teòrics, més especulatius. Entre aquests corrents cal destacar la intel·ligència artificial, l'objectiu de la qual és d'utilitzar els conceptes i les eines bàsiques de la informàtica per a simular i comprendre millor la intel·ligència humana i poder construir màquines cada cop més intel·ligents. Durant gairebé trenta anys, una petita comunitat d'investigadors ha intentat amb èxit divers de programar ordinadors per fer-ne sistemes o eines intel·ligents de resolució de problemes. A mitjan decenni dels anys setanta, després de dos decennis de progrés feixugament lent, els investiga-

dors de la intel·ligència artificial arribaren a una conclusió fonamental sobre el comportament intel·ligent en general: requereix una tremenda quantitat de coneixements, que la gent sovint dona per suposats però que s'han d'aportar a l'ordinador amb tot detall. Per exemple, entendre les expressions del llenguatge corrent, fins i tot les més simples, requereix amplis coneixements del context, sobre qui parla i el món en general, que queden fora de la capacitat dels ordinadors actuals. L'única solució consisteix a restringir o delimitar el context en cada cas. No és estrany, doncs, que els programes amb més èxit, els anomenats sistemes experts, siguin els que resolen problemes en un domini ben delimitat i de coneixements fàcilment expresables en forma de regles empíriques. Per exemple, les regles empíriques utilitzades en tot tipus de diagnòstic, sigui de malalties o d'avaries mecàniques; les reglamentacions legislatives; les regles de disseny i configuració d'ordinadors, etc. La major dificultat en la construcció d'aquests sistemes experts està a construir aquestes bases de coneixements o aquests conjunts de regles empíriques necessàries per a la resolució d'un problema.

Els sistemes experts han estat una de les primeres aplicacions de la intel·ligència artificial amb èxit industrial i comercial. Unes altres àrees d'aplicació, l'experimentació sobre les quals ha estat mantinguda fins ara dins els laboratoris, passaran a ésser també aplicacions industrials. Entre aquestes, per llur demanda social, cal destacar la traducció automàtica restringida i el resum de documents; l'ajuda intel·ligent a la concepció, enginyeria i producció assistides per ordinador (CAD/CAM); el reconeixement de textos parlats o escrits i la seva comprensió en dominis restringits; la visió artificial i els robots intel·ligents capaços de coordinar dinàmicament llur percepció i llurs accions; l'ensenyament assistit intel·ligentment per ordinador; sistemes intel·ligents d'automatització d'oficines, etc.

Per a afrontar aquests reptes de la intel·ligència artificial cal un nou tipus d'ordinador no seqüencial i programable mitjançant llenguatges lògics d'especificació de problemes. Aquest nou tipus d'ordinador, els japonesos l'han anomenat ordinador de la cinquena generació. I l'han concebut perquè sigui fàcilment utilitzable tant a la feina com a casa: per tant l'home ha de poder comprendre fàcilment el seu funcionament; ha de disposar de les màximes facilitats d'interacció—gràfiques, llenguatge corrent, parlat i escrit, etc.—i s'ha de poder connectar fàcilment a les xarxes de telecomunicacions. Per aconseguir-lo, els japonesos han posat en marxa un pla d'investigació, de deu anys de durada, que funciona des del gener de 1982. Als EUA aquest projecte ha tingut la seva rèplica en dos plans d'investigació que, entre altres coses, té per objectiu de potenciar la investigació en intel·ligència artificial. A Europa, el projecte ESPRIT ha donat també un paper rellevant a la intel·ligència artificial. Des de la perspectiva actual, aquests projectes responen a una necessitat de progrés ben sentida; però, en definitiva, el futur depèn sempre moltes sorpreses i serà l'experiència la que, com sempre, jutjarà la quantitat i la qualitat dels resultats obtinguts cap a la intel·ligència artificial.