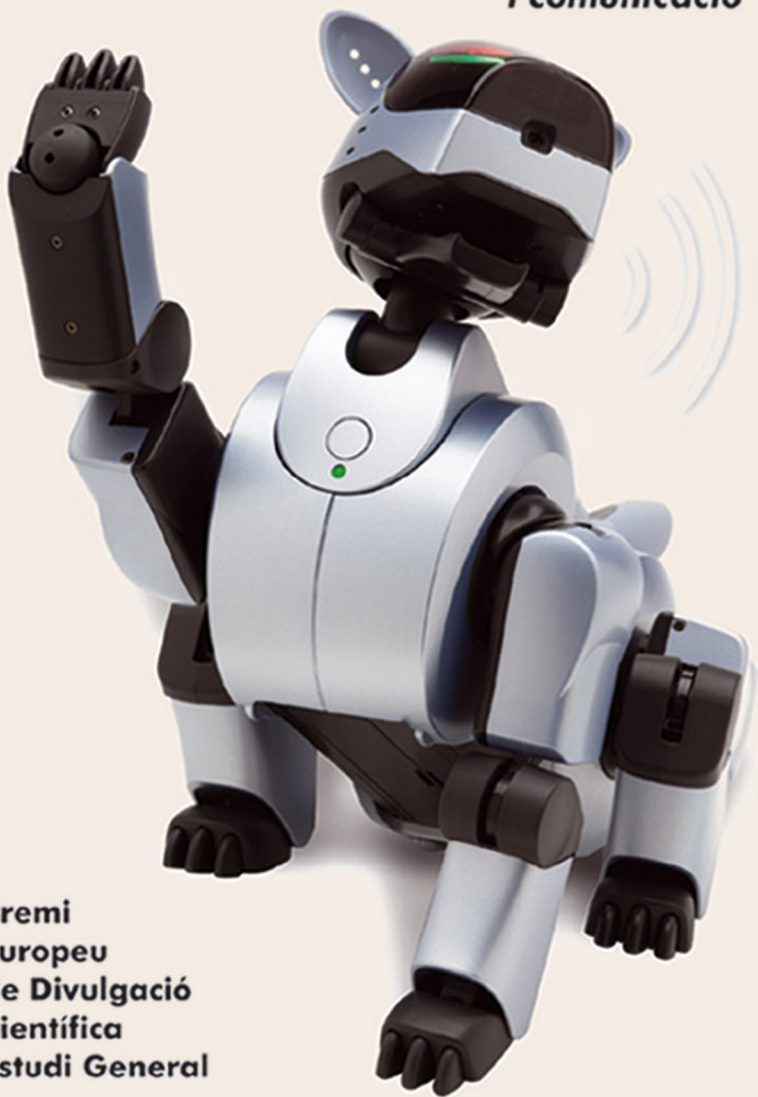


# Paraula de robot

**Òscar Vilarroya**

**Intel·ligència artificial  
i comunicació**



**Premi  
Europeu  
de Divulgació  
Científica  
Estudi General**



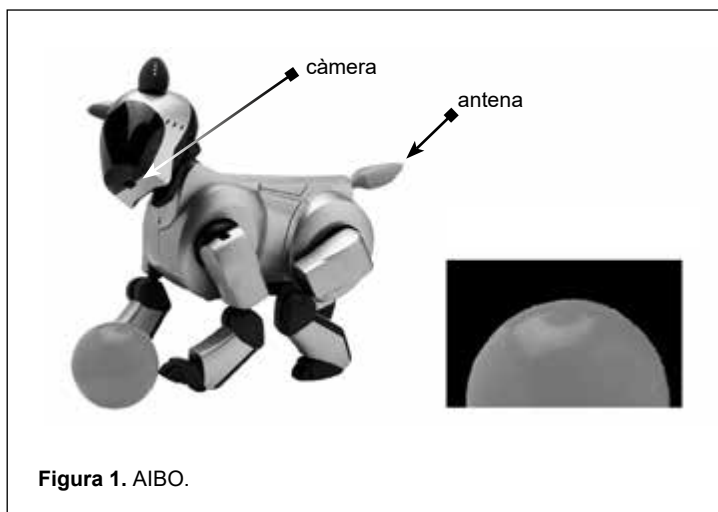
# 1

## EL LLENGUATGE DELS AIBO

Gener de 2002. Sóc davant del laboratori de robòtica de Luc Steels a París. Està situat al *Quartier Latin*, en el 5<sup>ème Arrondissement</sup>, el barri estudiantil per excel·lència. Luc Steels va convèncer els seus mecenes japonesos a fi que li muntessin un laboratori al centre de París. Un regal que està a disposició de molt pocs científics. L'edifici modern, amb grans finestral, dóna a un carrer poc transitat, però bastant ample. Hi entro. Un vigilant em demana les meves dades, consulta l'agenda i m'indica per on haig d'anar després d'haver-me fet passar pel detector de metalls. Pujo per l'ascensor preguntant-me quina deu ser la sorpresa que m'ha anunciat Steels aquest matí al telèfon. No em calien gaires incentius per a venir, així és que estic doblement intrigat. S'obre l'ascensor davant d'un gran cartell que m'anuncia que he arribat al meu objectiu.

Entro al laboratori. Com que no veig ningú a la recepció, continuo endavant. Passo per un passadís a banda i banda del qual hi ha despatxos i algun petit laboratori. Veig estudiants de doctorat burxant les entranyes de robots multi-formes i algun altre dissenyant figures estranyes en grans pantalles d'ordinador. Arribo al final del passadís que dóna a una gran sala. Reconec Luc Steels i algun dels seus col·laboradors en les figures que estan d'esquena. M'hi acosto sense dir res. Veig que estan observant el que fan dos dels seus robots més famosos, els AIBO.

L'AIBO (figura 1) és un robot comercialitzat per la companyia Sony i en el desenvolupament del qual va participar



molt intensament Steels. L'AIBO és un robot completament autònom i mòbil. És capaç de mostrar més de mil conductes, coordinades a través d'un sistema computacional complex (Fujita i Kitano 1998). Té una locomoció basada en quatre potes, una càmera per a rebre inputs visuals, dos micròfons i una gran quantitat de sensors corporals. Avui dia, AIBO és el robot autònom més complex. El grup de Steels l'ha millorat i li ha incorporat la capacitat lingüística per provar d'experimentar moltes de les seves teories sobre l'origen del llenguatge (Steels 1998, Steels 2001b, Steels *et al.* 2002).

Luc es gira i em saluda. M'adono que estan observant com dos dels seus AIBO mantenen una conversa entre ells. Els AIBO són en un espai d'uns tres metres quadrats, on hi ha diferents objectes, com una pilota vermella, una de verda, ninots i altres coses. Tant Steels com la resta del grup de recercadors semblen molt interessats. Els robots continuen parlant, i es mouen cap a la pilota vermella. Luc

Steels fa cada vegada una cara més sorpresa. Es gira i em diu: «No sé què renoi s'estan dient entre ells. Per exemple, els AIBO utilitzen el terme *pilota* només quan els operadors humans els tirem una pilota que roda i que ells han d'anar a buscar. Mai quan la pilota està parada, o quan els l'ensenyem», diu Steels. Li dic que si els ha programat ell, hauria de saber de què estan parlant. Em contesta arronçant les espatlles, perquè tots dos sabem que el llenguatge que parlen els seus robots no ha estat creat pels humans, sinó pels AIBO mateixos. Steels, com a desenvolupador, només els ha donat un processador, uns sensors i un sintetitzador de veu.

Les hores següents les passem analitzant les dades que sorgeixen de l'activitat dels ordinadors que mouen els robots. No en traiem l'entrellat. La pregunta sembla clara: com podem saber de què estan parlant? Com podem saber el significat de les paraules del nou llenguatge dels AIBO? Tots ens pensàvem que això seria ben senzill de contestar, sobretot tenint en compte que el món artificial on viuen els AIBO del grup de Steels és encara bastant reduït, amb pocs objectes i activitats senzilles, com jugar a pilota. Ara el grup de Steels s'adona que no, que malgrat tot el que saben i han investigat sobre l'origen, la natura i el desenvolupament dels llenguatges, la veritat és que en saben ben poc, de com poden identificar alguns dels significats dels llenguatges de l'AIBO.

*Luc Steels*

Luc Steels és director del Laboratori Sony de Ciència Computacional de París i professor d'informàtica a la Universitat de Brussel·les. Steels va estudiar al prestigiós MIT (Massachu-

setts Institute of Technology) i es va especialitzar en el camp de la intel·ligència artificial i en l'estudi del llenguatge.

En els darrers quatre anys, Steels i el seu grup han estat desenvolupant programes d'ordinador i robots que puguin ajudar a entendre la natura del llenguatge, han estudiat com es desenvolupa la capacitat lingüística a partir de processos cognitius molt senzills (Steels i Vogt 1997). Steels ha dissenyat els seus programes i robots a fi que siguin capaços de funcionar autònomament, de desenvolupar unes conceptualitzacions molt primitives dels seus mons, de crear paraules que es refereixin a aquest món, de comunicar-se amb altres congèneres i, sobretot, de canviar les seves conceptualitzacions i paraules si aquestes no permeten una comunicació eficaç amb altres robots amb els quals es comuniquen (Steels i Brooks 1994, Steels *et al.* 2002).

### *Jocs lingüístics*

Luc Steels està portant a terme aquest projecte a través d'un grup d'experiments que anomena *Els jocs de les endevinalles* (Steels 2001a, Steels 1999). Els experiments van començar l'any 1999 i s'han focalitzat en els orígens i l'evolució de l'arrelament de les paraules.

Els experiments consisteixen a estimular la comunicació entre diferents agents robòtics, entre ells els AIBO, tots amb uns sensors visuals i auditius mitjançant els quals reben informació de l'entorn i poden interactuar amb altres robots que veuen i senten coses similars. L'entorn comunicatiu pot ser format, per exemple, per una pissarra blanca en què hi ha diferents formes de colors enganxades, triangles, cercles, rectangles, tot i que els entorns han anat canviant a mesura que els robots s'han fet més sofisticats.

El joc el porten a terme dos agents. Un d'ells pren el paper del parlant i l'altre pren el paper de l'oient. Els agents s'intercanvien de tant en tant els papers d'oient i parlant. Els objectes que tenen al seu voltant al començament del joc constitueixen el *context*. Una versió del joc de les endevinalles és el típic que es juga quan un infant comença a parlar. Un exemple pot ser el següent:

MARE: Què fa la vaca? (*La mare assenyala un dibuix d'una vaca.*)

*Muuu!*

NEN: (*Observa la mare.*)

MARE: Què fa el gos? (*La mare assenyala un dibuix d'un gos.*)

*Bub!*

NEN: (*Observa la mare.*)

MARE: Què fa la vaca? (*Assenyala la vaca i espera.*)

NEN: *Muuu!*

MARE: Molt bé!

Una altra versió del joc consisteix que el parlant tria un objecte del context, que s'anomena tòpic, i dóna una pista lingüística a l'oient a fi que endevini de què es tracta. La pista lingüística és una expressió que identifica el tòpic respecte als altres objectes del context. Per exemple, si el context conté una pilota vermella, una capsa blava i una clau verda, el parlant pot dir alguna cosa com «la cosa vermella». Si el context conté també una clau vermella, l'agent ha de ser molt més precís i dir «la cosa rodona vermella».

Evidentment, els agents no diuen aquestes paraules, sinó que utilitzen el seu propi llenguatge. És més, no hi ha garantia que els conceptes s'assemblin en res als utilitzats en anglès, francès o català. Per exemple, els agents poden dir alguna cosa com «malewna» per dir «cosa vermella situada a l'extrem esquerre de l'escenari». Ara bé, les paraules creades en aquests jocs són sempre unitats atòmiques, tot i

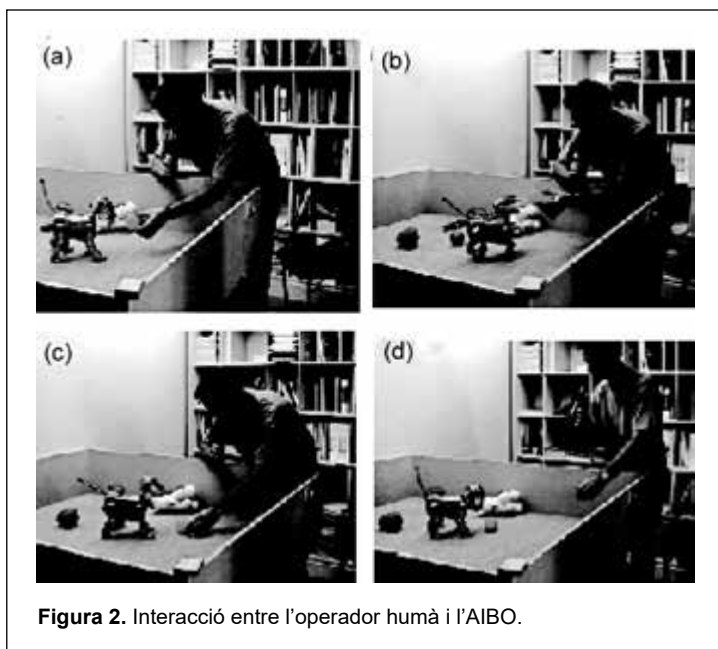
que els agents poden produir i reconèixer frases en moltes paraules.

A partir d'aquestes dades, l'oient ha d'intentar endevinar quin tòpic està pensant el parlant. L'oient manifesta la seva resposta acostant-se i assenyalant l'objecte en què estava *pensant*. El joc té èxit si el tòpic suposat per l'oient és el mateix que el tòpic escollit pel parlant. El joc fracassa si l'endevinalla era equivocada o el parlant o l'oient no s'entenen en algun moment del joc. En cas de fallada, el parlant dóna una clau extralingüística assenyalant el tòpic en què estava pensant, i tots dos agents intenten adequar les seves estructures internes a fi de ser més eficaços en el futur.

En el cas dels AIBO, Steels ha aconseguit arribar a reproduir un altre joc, anomenat el joc de classificació (Steels 1999, Steels 2001a). El joc de classificació és similar al joc de les endevinalles, amb la diferència que només hi ha un sol objecte per classificar. Com que la càmera de l'AIBO no té un gran angle de captació, només un sol objecte pot ser focalitzat. Els objectes que va fer servir Steels van ser una pilota, una nina que anomena *Smiley* i una imitació, de petita grandària, d'un AIBO, que s'anomena *poo-chi*. Les paraules *pilota*, *smiley* i *poo-chi* són les que utilitza l'interlocutor humà en les seves interaccions amb l'AIBO. L'objectiu fonamental del robot és adquirir l'ús adequat de la paraula amb relació a les imatges. Un diàleg típic entre l'interlocutor humà i l'AIBO és el següent (figura 2):

HUMÀ: Aixeca't!

L'AIBO ja té adquirit un lèxic d'accions i d'ordres, i l'ordre *aixeca't* ha estat relacionada per l'AIBO amb l'acció de començar un joc lingüístic. La conversa d'un AIBO que comença a jugar per primera vegada segueix habitualment el procés següent:



**Figura 2.** Interacció entre l'operador humà i l'AIBO.

HUMÀ: Mira!

La paraula *mira* ajuda a focalitzar l'atenció i els senyals que vénen de l'interlocutor. En aquestes situacions, l'AIBO comença a concentrar-se en la pilota, a seguir les seves trajectòries i a provar de tocar-la. Aleshores l'interlocutor humà acostuma a dir:

HUMÀ: Pilota.

L'AIBO encara no coneix la paraula per a aquest objecte. Habitualment, quan això passa, l'AIBO demana la confirmació de l'interlocutor humà que la paraula és la correcta:



AIBO: Pilota?

HUMÀ: Sí.

L'humà, aleshores, pot començar a comprovar si l'AIBO ha comprès efectivament la paraula.

HUMÀ: Què és això?

AIBO: Pilota.

HUMÀ: Bé!

L'humà pot moure la pilota a una altra part de l'entorn de l'AIBO i tornar a preguntar:

HUMÀ: Què és això?

AIBO: Smiley.

HUMÀ: No. Escolta. Pilota.

AIBO: Pilota?

HUMÀ: Sí. És un Smiley?

AIBO: No. Pilota.

HUMÀ: Bé!

En definitiva, l'AIBO es comporta com un nen de dos anys: juga gairebé sempre, mentre desenvolupa el seu llenguatge.

### *El cervell de l'AIBO*

Com ho aconsegueix, això, Steels? El seu laboratori ha dissenyat els AIBO per establir les bases necessàries per a donar lloc a un sistema capaç d'aprendre i parlar. Això ha suposat molts anys i molts esforços de disseny i d'assajos/error, així com el desenvolupament d'una infraestructura experimental i teòrica molt sofisticada.

Doncs bé, a partir de les recerques que ha fet els darrers anys, Steels ha identificat un nombre de criteris que defineixen les capacitats de base a partir de les quals ha dissenyat els seus robots parlants:

### Mecanisme de conceptualització

Els AIBO tenen un mecanisme per conceptualitzar el seu entorn sense tenir informació de referència sobre ell. En efecte, el punt fonamental del treball del grup de Steels és que les categoritzacions que fa un AIBO del seu món i el llenguatge que utilitza no està programat, sinó que emergeix dels sistemes que té l'AIBO i de la seva interacció amb altres AIBO. Ara bé, perquè hi hagi conceptualitzacions és necessari que l'AIBO disposi d'algun mecanisme bàsic. Quin?

Tot i que Steels ha provat molts mecanismes de conceptualització al llarg dels anys que fa que desenvolupa robots, li ha costat trobar un sistema apropiat. El fet és que en el moment present hi ha moltes maneres de classificar objectes, però no sempre funcionen a la pràctica. En el cas de l'AIBO, la decisió més important que l'equip de Steels va prendre va ser no segmentar objectes en trets distintius. Aquesta és la tècnica habitual i tradicional (Lamberts i Shanks 1997, Murphy i Medin 1985), que consisteix, en primer lloc, a dividir els objectes i les situacions que puguin ser percebuts pel sistema en trets distintius (per exemple, una cadira podria tenir aquests trets distintius: *a*) tenir quatre potes; *b*) tenir una superfície plana sobre les quatre potes; *c*) tenir un respall; *d*) ser feta de material dur...). Després s'ha de donar al sistema la capacitat per a construir representacions d'objectes i situacions a partir d'aquests trets. Un cop aconseguit això, el sistema categoritzarà un grup d'objectes com

a grup, com a categoria, quan comparteixin un determinat nombre de trets.

Steels va desestimar aquesta opció perquè és extremament difícil, fins i tot es considera que pot ser impossible (Clancey 1997). Cada tret d'un objecte pot canviar d'un moment a un altre. És molt difícil establir d'entrada tots els trets i totes les situacions possibles en què l'AIBO podrà percebre aquests trets. La il·luminació, l'angle de visió canvien i fan canviar els trets que pertanyen a un objecte.

El sistema de categorització escollit per Steels és el d'exemples o casos. Aquest és un sistema fortament contextual i específic per a cada situació (Mel 1997). Aquest model es basa en la utilització de moltes visions diferents d'un objecte, situacions que posteriorment es normalitzen<sup>1</sup> i es memoritzen. La classificació en diferents categories es fa mitjançant un algorisme de veïnatge. El resultat és un sistema que basa l'adquisició de conceptes en la pròpia experiència de l'individu (Hintzman 1990, Medin i Schaffer 1978).

Ara bé, com que aquest sistema està basat en l'experiència de cada AIBO, el procés de conceptualització pot arribar a ser diferent per a cada AIBO, de tal manera que hi ha el risc que els AIBO arribin a tenir un repertori de conceptes diferents. El cas és que hi ha moltes maneres de conceptualitzar la realitat. Per exemple, en una situació en què un AIBO tingui al davant un triangle vermell a l'esquerra i un quadrat blau a la dreta, tres distincions diferents (vermell/

---

1. La normalització és, en poques paraules, el procés d'organitzar les dades que aporten els sensors de manera eficaç. El procés de normalització té dos objectius: eliminar les dades redundants i assegurar que les relacions entre les dades tenen sentit. Hi ha molts mètodes de normalització, l'explicació dels quals no tindria gaire sentit aquí.

blau, triangle/quadrat, esquerra/dreta) poden ser conceptualitzades per l'AIBO.

Per aconseguir reduir aquest repertori i garantir una certa estabilitat entre diferents AIBO, Steels ha utilitzat dos mecanismes. Un és la visibilitat: les diferències sensorials que es remarquen més seran les preferides per a conceptualitzar l'escena, i es reduirà l'espai de recerca per a les paraules que no es coneixen. Per tant, si hi ha tres objectes amb colors molt diferents, dos a l'esquerra i un a la dreta, es preferirà el color abans que la posició, perquè és més distintiu. La segona restricció prové del fet de tenir en compte el lèxic per al procés de conceptualització. Quan hi ha dos conceptes que són igualment distintius, però a un li correspon una paraula que s'ha utilitzat més, aleshores aquest és l'escollit.

A més, Steels ha organitzat les categories en arbres de discriminació que permeten fixar les categories. En un arbre de discriminació, cada nus conté un discriminador que permet filtrar un conjunt d'objectes en un subconjunt que satisfà una categoria determinada i un altre que satisfà el seu contrari. Per exemple, hi pot haver un discriminador basat en la posició horitzontal (HPOS) del centre d'un objecte (escalat entre 0,0 i 1,0) que distribueix els objectes en un context com *esquerra* quan el HPOS és entre 0 i 0,5 i un que categoritza *dreta* quan el HPOS és entre 0,5 i 1,0. Altres subcategories es poden crear mitjançant la restricció de les característiques de cada categoria. Per exemple, la categoria *molt a l'esquerra* s'aplica quan un objecte té un valor HPOS entre 0,0 i 0,25.

### Mecanisme de verbalització

Els AIBO tenen un mecanisme de verbalització i de comprensió de formes verbals. Aquest sistema és evidentment

imprescindible; sense ell no pot haver-hi cap joc lingüístic. Doncs bé, els mots que entenen i utilitzen els AIBO són combinacions a l'atzar de síl·labes que els AIBO escullen en el seu repertori lèxic. Un cop escollida una forma sil·làbica, cada agent associa, en una relació bidireccional, la forma (que són les paraules individuals) i les categories específiques. Un cop fet això, cada associació es marca amb un resultat que pot anar de 0,1 a 1.

Quan un parlant necessita verbalitzar una categoria, i ja té el lèxic desenvolupat, busca totes les paraules associades amb aquesta categoria, les ordena i en treu una que té el millor resultat per a la transmissió cap a l'oient. De manera similar, quan l'oient necessita interpretar una paraula, busca totes les categories, prova quines són aplicables al context actiu en aquell moment de tal manera que extreu un únic referent i escull com a guanyadora la paraula associada amb el resultat més alt. El parlant i l'oient comparen els resultats i actualitzen els resultats dels mots. Quan el joc ha tingut èxit, incrementen el resultat de l'associació entre paraula i categoria amb una quantitat fixa (habitualment un 0,1) i disminueixen la dels seus competidors amb la mateixa quantitat. Quan el joc ha fracassat, disminueixen el resultat de l'associació que han utilitzat en la mateixa quantitat fixa.

### Mecanisme de comunicació no verbal

Els AIBO també tenen mecanismes no verbals per a aconseguir dur a terme les seves interaccions verbals. L'objectiu comunicatiu dels agents en els experiments dels AIBO és portar l'atenció de diferents individus cap a un objecte en un context compartit. Steels i els seus col·laboradors han arribat a la conclusió que és crucial que els agents puguin fer això a fi que la comunicació tingui èxit. El llenguatge

verbal per ell mateix no és suficient. Per exemple, quan un parlant no té una forma per a expressar una categoria que vol comunicar i necessita reforçar la seva opció, o quan un oient escolta una nova paraula que no ha sentit mai abans, les pistes extralingüístiques van molt bé. En aquests casos l'oient guarda una nova associació entre la paraula escoltada i la millor hipòtesi que pot trobar com a possible categoria. La hipòtesi pot veure's facilitada per les claus extralingüístiques que ha proporcionat el parlant, com un gest del cap en direcció al tòpic.

### Mecanisme d'aprenentatge

Els AIBO tenen un mecanisme d'aprenentatge d'associacions entre paraules i significats. El mecanisme permet associacions en doble sentit (de les paraules als significats i dels significats a les paraules), l'ús d'associacions múltiples (una paraula amb molts significats i un significat amb moltes paraules), i ha de poder registrar el valor de les associacions a partir de la seva experiència. Si el comparéssim amb els humans, seria el nostre mecanisme de memòria.

Com que el sistema de categorització de l'AIBO està basat en el sistema per exemples o casos, el mecanisme d'aprenentatge treu profit de les seves propietats. Així, l'AIBO identifica en la seva memòria situacions similars a les que experimenta en aquell moment, les relaciona amb algorismes de veïnatge, reuneix situacions similars i n'extreu una regularitat rellevant. Per exemple, si la paraula que diu un parlant sempre que juguen és *maluwna*, aquesta forma verbal es relacionarà sempre amb situacions de joc.

## Mecanisme d'interacció social

Els AIBO tenen un sistema que els permet establir interaccions coordinades entre diferents individus. Això vol dir que han de ser capaços de compartir objectius i motivacions entre diferents agents per poder cooperar.

### *El problema*

El cas és que el grup de Steels es troba que, tot i haver dissenyat aquests robots, és incapaç de saber a què corresponen les paraules que utilitzen els AIBO darrerament. D'entrada, resulta paradoxal el fet que Steels hagi dissenyat uns sistemes i que no sàpiga què és el que fan. Per a Luc Steels, però, això no és tan paradoxal. Steels insisteix, sempre que pot, que l'opció que ha pres dins del món de la intel·ligència artificial i de la robòtica és completament diferent de la que era tradicional en el passat. La intel·ligència artificial clàssica volia construir sistemes que fessin certes coses de manera molt eficaç. Steels no vol construir robots que compleixin un seguit de funcions. No. El que aquest recercador belga vol és comprendre com neixen i es desenvolupen la intel·ligència i el llenguatge. I per això el que ha fet és intentar saber quines són les capacitats bàsiques necessàries i suficients que permetin fer aparèixer la intel·ligència i el llenguatge. Steels ha dissenyat els seus robots amb uns mecanismes senzills amb regles locals, cosa que permet als sistemes buscar per ells mateixos solucions als seus problemes. I el seu AIBO sembla que és la culminació del seu esforç. El fet que no entenguin el que diuen és per a ell un elogi i no pas un problema. L'AIBO ha demostrat que pot crear un llenguatge propi,

que pot comunicar-lo i adaptar-se al seu entorn. És més, el problema, per a Luc Steels, no és tant saber quin és el significat concret de les paraules (*pilota, verd, vermell*, etc.), sinó saber a què corresponen els significats en general (a les propietats perceptives dels objectes del seu entorn?; a les regles que determinen cada categoria?). Perquè un cop analitzats els programes dels AIBO, Steels s'ha adonat que els AIBO ja no utilitzen les paraules simplement per referir-se a coses concretes, com la *pilota* o el color *verd*. Sembla que els robots han anat més enllà. Però on? Per a entendre millor on va l'AIBO és, però, necessari que fem un petit repàs d'on ve.