

# **Criatures virtuals emocionals i ensinistrables per un MMOG**

Carles Ros Martínez

Ponent: Òscar García Panyella

(2004-09-27)

Escola tècnica superior d'enginyeria electrònica i informàtica La Salle

Universitat Ramon Llull

Barcelona

*Projecte fi de carrera per la llicenciatura en enginyeria en informàtica*

# Abstracte

Demostrar intel·ligència no és suficient perquè el personatge d'un videojoc sigui del tot creïble, sinó que és imprescindible que aquest expressi emocions. Així doncs, es desenvoluparà una criatura que acompanya i fa de mascota del jugador, de forma que considera el personatge del jugador com el seu amo i el comportament de la qual vindrà tant definit per les seves experiències amb l'entorn com pels premis i càstigs que rebi de l'amo. A més, la criatura serà capaç de demostrar emocions bàsiques, tant degut a la seva experiència amb l'entorn com amb el seu amo. Amb això es persegueix que el jugador estableixi un lliga'm emocional amb la seva mascota, i pugui triar entre donar-li total llibertat de comportament o ensenyar-la a que es comporti com el jugador desitja; o un terme mig, les emocions que experimenti el jugador vers la seva mascota ho dictarà!

# Resum

La complexitat dels móns que ofereixen els videojocs cada cop és major, permetent als jugador manipular-los de múltiples maneres. Això implica que els personatges controlats per l'ordinador cada vegada hauran de saber respondre a un nombre major de situacions. Preveure totes aquestes situacions està deixant de ser viable i es requereixen altres formes per controlar els personatges que la tradicional basada en regles. Convé que els personatges s'adaptin al seu entorn, i l'aprenentatge és l'eina per portar a terme amb èxit aquesta adaptació, augmentant el realisme dels personatges en dotar-los d'un major grau d'il·lusió d'intel·ligència.

Però demostrar intel·ligència no és suficient perquè un personatge sigui del tot creïble, sinó que és imprescindible que aquest expressi emocions. Les emocions, a més, han d'influir en les decisions preses i comportaments realitzats si es vol que el personatge sigui biològicament plausible. Així doncs, la combinació d'intel·ligència i emocions permet, no només solucionar el problema d'afrontar móns extremadament complexos, sinó també augmentar la sensació de realisme i immersió del jugador, proporcionant-li noves experiències sense precedents en els jocs.

Es proposa, doncs, una arquitectura capaç tant d'aprendre com d'expressar emocions convincents. Concretament, s'usarà el model d'aprenentatge per reforçament, el qual s'escau molt a les característiques del joc. L'aprenentatge es farà de forma incremental a nivell de comportament amb l'algorisme *Q-learning*, i permetent rebre senyals de reforçament tant de l'entorn com del propi jugador. Amb l'objectiu de reduir la memòria necessària per emmagatzemar els valor Q s'usaran xarxes neuronals. I pel que fa a les emocions, aquestes naixeran dels estímuls de l'entorn i mentals. A més, cada personatge podrà expressar sentiments vers els demés a través de les emocions. També es permetrà definir una personalitat diferent a cadascun, d'una forma senzilla i alhora flexible, que proporcionarà al dissenyador del joc una eina potent i intuïtiva per obtenir els resultats desitjats amb el mínim de temps possible.

# Taula de contingut

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Abstracte</b> .....                            | <b>2</b>  |
| <b>Resum</b> .....                                | <b>3</b>  |
| <b>Taula de contingut</b> .....                   | <b>4</b>  |
| <b>Llista de figures</b> .....                    | <b>7</b>  |
| <b>Capítol 1. Introducció</b> .....               | <b>8</b>  |
| Marc.....   | 8         |
| Estat de l'art.....                               | 9         |
| Descripció del problema.....                      | 10        |
| Solució proposada.....                            | 11        |
| Perspectiva general del projecte .....            | 12        |
| <b>Capítol 2. Criatures emocionals</b> .....      | <b>14</b> |
| Introducció.....                                  | 14        |
| Sensacions, emocions i sentiments.....            | 14        |
| <i>Sensacions</i> .....                           | 15        |
| <i>Emocions</i> .....                             | 17        |
| <i>Estat d'ànim</i> .....                         | 19        |
| <i>Sentiments</i> .....                           | 20        |
| <i>Personalitat</i> .....                         | 21        |
| Demostrar emocions .....                          | 23        |
| <i>Utilització del contingut emocional</i> .....  | 24        |
| <i>Alteració de la percepció</i> .....            | 25        |
| Sistema emocional.....                            | 26        |
| <i>Transformació d'estímul a sensacions</i> ..... | 28        |

|   |           |
|---|-----------|
| <i>Transformació de sensacions a emocions</i> .....   | 30        |
| <i>Transformació de sensacions a sentiments</i> ..... | 31        |
| <i>Decaïment de les emocions</i> .....                | 31        |
| <b>Capítol 3. Criatures que aprenen</b> .....         | <b>33</b> |
| Introducció.....                                      | 33        |
| Política d'aprenentatge .....                         | 34        |
| <i>Aprenentatge per reforçament</i> .....             | 35        |
| <i>Xarxes neuronals</i> .....                         | 37        |
| <i>Premis</i> .....                                   | 40        |
| Política de comportament .....                        | 41        |
| Sistema d'adaptació.....                              | 43        |
| <i>Transformació d'estímul a premis</i> .....         | 45        |
| <i>Acumulació de premis</i> .....                     | 46        |
| <i>Obtenció del premi de comportament</i> .....       | 46        |
| <i>Entrenament de la xarxa neuronal</i> .....         | 47        |
| <i>Restauració de comportament</i> .....              | 48        |
| <i>Obtenció dels comportaments</i> .....              | 48        |
| <i>Selecció de comportament</i> .....                 | 49        |
| <i>Emmagatzematge de la situació actual</i> .....     | 50        |
| <i>Actualització d'<math>\epsilon</math></i> .....    | 50        |
| <b>Capítol 4. Arquitectura</b> .....                  | <b>51</b> |
| Introducció.....                                      | 51        |
| Sistemes de la criatura .....                         | 52        |
| Integració en un MMOG .....                           | 54        |
| <b>Capítol 5. Experiment realitzat</b> .....          | <b>56</b> |
| Introducció.....                                      | 56        |
| Definició .....                                       | 56        |
| Resultats.....  | 60        |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Capítol 6. Conclusions .....</b>       | <b>65</b> |
| Avaluació final .....                     | 65        |
| Línies de futur.....                      | 68        |
| <i>Aprenentatge a nivell d'acció.....</i> | <i>68</i> |
| <i>Passions.....</i>                      | <i>69</i> |
| <i>Empatia .....</i>                      | <i>70</i> |
| <i>Drama interactiu .....</i>             | <i>71</i> |
| <i>Experiment en un MMOG real.....</i>    | <i>72</i> |
| <b>Bibliografia.....</b>                  | <b>73</b> |

# Llista de figures

|            |  |    |
|------------|--|----|
| Figura 2.1 | Creixement d'una emoció degut a una sensació i el seu posterior lent decaïment.....                                    | 18 |
| Figura 2.2 | Funció sigmoïdal bipolar.....  | 21 |
| Figura 2.3 | Sistema emocional vist com una caixa negra.....  | 26 |
| Figura 2.4 | Elements que influeixen en la generació d'una sensació.....  | 28 |
| Figura 2.5 | Exemple d'una taula base de relacions estímuls-emocions i dues entrades redefinides exclusivament per la criatura..... | 29 |
| Figura 2.6 | Procés d'aplicació d'una sensació sobre les emocions.....  | 30 |
| Figura 2.7 | Procés d'aplicació d'una sensació sobre el sentiment vers el tipus d'entitat causant de la sensació.....               | 31 |
| Figura 2.8 | Procés de decaïment de les emocions.....   | 32 |
| Figura 3.1 | Model d'aprenentatge per reforçament implantat en una criatura.....  | 35 |
| Figura 3.2 | Sistema d'adaptació vist com una caixa negra.....  | 43 |
| Figura 3.3 | Elements que influeixen en la generació de premis d'objectiu.....  | 45 |
| Figura 3.4 | Acumulació d'un premi en el guany d'objectius.....   | 46 |
| Figura 3.5 | Procés d'obtenció del premi de comportament.....   | 47 |
| Figura 3.6 | Informació necessària per l'entrenament d'una xarxa neuronal.....  | 47 |
| Figura 3.7 | Procés de selecció del comportament.....   | 49 |
| Figura 4.1 | Model d'un agent <i>embodied</i> .....   | 51 |
| Figura 4.2 | Relacions entre tots els sistemes que formen la criatura.....  | 53 |

# Capítol 1. Introducció

---

## Marc

En els últims anys el món dels videojocs ha vist com la intel·ligència artificial passava de ser una component secundària, o fins i tot inexistent, a ser recentment un aspecte tant important com els gràfics mateixos, fins al punt de ser utilitzat ja en alguns jocs com a tret distintiu comercialment i clau de la seva jugabilitat (cas del joc *Black&White*, en el que has d'ensinistrar una criatura capaç de demostrar un cert grau d'empatia). Aquesta evolució era (i encara és) necessària per proporcionar al jugador un major grau d'immersió, així com obrir noves vies d'entreteniment.

La tendència actual fa pensar que la major innovació en el camp de la intel·ligència artificial dels jocs del futur serà l'aprenentatge [Rabin04]. Certament, els jocs cada vegada contenen móns més complexos i permeten al jugador major llibertat per alterar-los. Això fa que la implementació clàssica dels personatges basada en regles sigui totalment insuficient per contemplar tota la varietat de casos en la que un personatge es pot arribar a trobar. Per tant, convé que els personatges siguin capaços d'adaptar-se als canvis de l'entorn. Aquesta adaptació no pot ser immediata, sinó necessàriament progressiva, però això comporta el risc de que el jugador confongui una fase d'aprenentatge amb un error de la intel·ligència artificial del joc, de manera que és imprescindible transmetre al jugador el fet de que un personatge s'adona dels seus errors i n'aprèn.

Una bona solució és que el personatge expressi el seus estat emocional en front de cada situació, especialment en aquells casos en què es produeix un xoc emocional més fort. Demostrar les emocions és molt convenient, doncs els humans fàcilment associem un estat d'ànim amb la situació en què s'ha trobat algú. Així, quan un jugador vegi un personatge cometent un error, aquest pot demostrar enuig, transmetent al jugador la sensació de que el personatge s'ha adonat del seu error. Evidentment si el personatge



repetís contínuament l'error i la reacció d'enuig acabaria per perdre tota la il·lusió d'intel·ligència, de forma que l'aprenentatge continua sent essencial.

Aquesta combinació d'aprenentatge i emocions dóna als personatges dels jocs una nova dimensió d'humanització, il·lusió que permetrà incrementar enormement la immersió del jugador en el món creat pel joc, especialment en sentir-s'hi lligat emocionalment. La indústria dels videojocs encara és relativament jove, i tot just es donen els primers passos per crear jocs capaços de despertar emocions intenses en els jugadors. Aquesta pot ser precisament la clau per què els jocs facin finalment el salt al gran públic [Freeman03]. Al final però, no s'ha d'oblidar mai que la finalitat de tot joc és proporcionar el màxim d'entreteniment al jugador<sup>1</sup>.

I és precisament amb aquesta finalitat de proporcionar més i millor entreteniment, i amb l'esperança de contribuir a aquesta línia d'evolució en la intel·ligència artificial dels jocs, que aquest projecte té per objectiu desenvolupar personatges amb capacitat d'adaptació i de mantenir i demostrar un estat emocional convincent.

---

## **Estat de l'art**

Com ja s'ha dit, l'aprenentatge i, especialment, les emocions són poc presents en els jocs actuals, però en l'entorn acadèmic ja fa un temps que s'investiga, principalment aplicat a robots. Fins i tot s'arriba a l'extrem de proposar una arquitectura en què les emocions condueixen totalment l'adaptació del robot a l'entorn [Gadanh01]. En canvi, en [Champandard04] les emocions són un factor més que influeixen en l'aprenentatge i en els comportaments realitzats pels personatges, incrementant el realisme d'aquests gràcies a l'aproximació biològicament plausible que les emocions representen.

No obstant la carència de jocs amb característiques remarcables d'adaptació i, sobretot, d'expressivitat emocional convincent dels seus personatges, hi ha un joc que va causar

---

<sup>1</sup> Són excepció els anomenats "jocs seriosos" [SeriousGames], que realment persegueixen un altre objectiu final, però es basen en l'entreteniment com a mitjà per assolir-lo; un exemple de "joc seriós" és un joc educatiu.

sensació per centrar la seva jugabilitat al voltant de l'aprenentatge: el *Black&White*. En aquest joc el jugador ensinistra una criatura a fer allò que ell/ella desitja i, si bé la criatura no expressa emocions gaire realistes, sí que és capaç de demostrar un cert grau d'empatia, la qual cosa, combinada amb un aprenentatge prou intel·ligent, desperta emocions en el jugador que n'estreten el lligam amb la seva criatura.

Malgrat tot, si en l'aprenentatge com a mínim ja s'han donat les primeres passes, en l'expressivitat emocional no es coneix cap joc que sigui capaç d'expressar-ne d'una forma prou convincent. El que més s'hi acostava, encara que només sigui pel fet de despertar emocions noves que les dels jocs clàssics, potser sigui *The Sims*. Aquest joc es basa en intentar que uns personatges facin el que el jugador desitja, mentre que els personatges tenen les seves pròpies preferències. Està ambientat en la vida quotidiana actual, i el seu èxit radica en despertar les emocions que sorgeixen de les relacions socials. Però les emocions que expressen els personatges encara es noten força artificials, perdent molta credibilitat. Tot i així, ha estat el joc amb major èxit dels últims anys, fins al punt de que una mica més del 50% dels jugadors provenen del mercat femení, típicament minoritària al món dels videojocs.

---

## Descripció del problema

El problema principal el trobem en què tot just es comença a incorporar l'aprenentatge en els jocs moderns i no hi ha ni precedents de jocs amb capacitats emocionals convincent. Malauradament, els jocs, tot i la seva ben guanyada fama d'innovar constantment en l'aspecte tecnològic, frenen exageradament aquest entusiasme quan es tracta d'innovacions que poden escapar del control dels paràmetres de disseny un cop se n'ha efectuat el llançament. El motiu és que les companyies veuen l'aprenentatge, i especialment l'aprenentatge *on-line*, com un risc excessiu. Això clarament va en detriment d'una ràpida incorporació de l'aprenentatge als jocs.

Pel que fa a les emocions, aquestes semblen encara estar més marginades. Segurament es degui a que les emocions no es poden expressar fàcilment amb un conjunt de regles si es pretén que no semblin artificials tard o d'hora. Irònicament, qui ha de solucionar

les limitacions dels sistemes de regles clàssics és l'aprenentatge. Per tant, en cert sentit es pot considerar que la incorporació d'emocions prou convincents va indirectament lligada a l'aprenentatge.

No s'ha de caure en l'error de pensar que amb l'aprenentatge és suficient, doncs per un ser viu major s'espera que la intel·ligència que demostrï estigui influenciada, si no totalment, com a mínim en part pel seu estat emocional. Per tant, convé trobar una solució adequada que combini aprenentatge i emocions. A més, és important que aquesta solució pugui ser utilitzada pel major ventall de jocs possible.

---

## Solució proposada

No cal dir que hi ha una gran varietat de tipus de jocs, i amb sort encara n'estan per aparèixer molts tipus més. I, evidentment, no tots tenen necessitats d'aprenentatge ni despertar emocions més enllà que la del simple plaer d'entretenir el jugador (com per exemple, el *Tetris*, potser el joc que més èxit ha tingut en la curta història dels videojocs pel que respecte al nombre i diversitat de gent que hi ha jugat). Per tant, aquest projecte va destinat a aquell segment de jocs que explotin els personatges com un dels seus elements claus.

Però dins d'aquest segment encara hi ha una gran diversitat de jocs, tots amb requeriments molt diferents els uns dels altres, tant en jugabilitat com en tecnologia. La jugabilitat no és l'objectiu directe d'aquest projecte, tot i que sí proporcionar al dissenyador de jocs una eina més per ampliar-la i millorar-la. Perquè aquesta eina pugui ser útil al màxim de dissenyadors la intenció d'aquest projecte és centrar-se en aquells jocs en què els personatges tinguin un major restricció tecnològica; és a dir, que disposin de menys recursos. Amb això es pretén arribar tant als jocs amb un gran nombre de personatges, com a aquells en què el joc els hi assigna més recursos.

Últimament s'està experimentant un boom en la creació de MMOG (*Massively Multiplayer Online Game*). Hi ha qui fins i tot s'atreveix a dir que en el futur faran competència per l'audiència amb les televisions mateixes, especialment utilitzant una

arma tant comuna en la televisió com és anunciar amb uns dies d'antelació un cert esdeveniment [Klug02]. Els MMOG es caracteritzen en què el joc té lloc en un món persistent, el qual continua evolucionant independentment de que el jugador hi estigui connectat o no. Aquests móns persistents solen estar poblats per milers de personatges no jugador<sup>1</sup>, sent, per tant, molt restrictius pel que fa a recursos que s'assigna a cada personatge. Com que són possiblement els jocs en què els personatge pateixen més restriccions, en aquest projecte es desenvoluparà personatges amb aquestes restriccions en ment, però alhora prou sofisticats i convincents com perquè puguin ser estesos a d'altres jocs que imposin menors restriccions als seus personatges.

Per tenir un model de referència més concret, el personatge a desenvolupar serà una criatura que acompanya i fa de mascota del jugador, de forma que considera el personatge del jugador com el seu amo i el comportament de la qual vindrà tant definit per les seves experiències amb l'entorn com pels premis i càstigs que rebí de l'amo. A més, la criatura serà capaç de demostrar emocions bàsiques, tant degut a la seva experiència amb l'entorn com amb el seu amo. Amb això es persegueix que el jugador estableixi un lliga'm emocional amb la seva mascota, i pugui triar entre donar-li total llibertat de comportament o ensenyar-la a que es comporti com el jugador desitja; o un terme mig, les emocions que experimenti el jugador vers la seva mascota ho dictarà!

---

## Perspectiva general del projecte

A més d'aquesta introducció, el projecte està estructurat en els següents capítols:

- **Capítol 2, “Criatures emocionals”.** Es descriu els elements que contribueixen a demostrar emocions per part de les criatures, i el sistema emocional proposat per tal de gestionar-les. Més concretament, es veurà com les emocions neixen dels estímuls sensorials i mentals (inclosos sentiments i emocions), i l'impacte que tenen en la resta de la criatura.

---

<sup>1</sup> En l'argot dels jocs, especialment en els de rol, un personatge no jugador fa referència a un personatge controlat per l'ordinador.

- **Capítol 3, “Criatures que aprenen”.** L’aprenentatge de les criatures es realitza mitjançant el model d’aprenentatge per reforçament. S’explica com s’aplica aquest model a la criatura per mitjà de l’algorisme *Q-learning* i xarxes neuronals, junt amb el sistema d’adaptació usat per aprendre i escollir les millors accions a realitzar en tot moment.
- **Capítol 4, “Arquitectura”.** Una visió conjunt de les relacions entre tots els sistemes d’una criatura es comenta en aquest capítol, així com les possibilitats d’integració de tal arquitectura en un MMOG.
- **Capítol 5, “Experiment realitzat”.** Es presenta un minijoc realitzat per posar a prova els sistemes emocionals i d’adaptació (i l’arquitectura en general) detallats als capítols anteriors, finalitzant el capítol amb una discussió sobre els resultats obtinguts.
- **Capítol 6, “Conclusions”.** Finalment s’avalua si s’han assolit les expectatives fixades a la introducció i es proposen línies de futur interessants per continuar progressant en la millora de les capacitats d’aprenentatge i expressivitat emocional de les criatures.

# Capítol 2. Criatures emocionals

---

## Introducció

Tenir una criatura que demostrï un mínim d'intel·ligència no és suficient per aconseguir credibilitat per part del jugador. Convindrà dotar-la d'emocions per fer-la biològicament més plausible [Champanard04]. Així, les emocions influiran en el comportament que la criatura esculli en tot moment, a més de ser un eina per transmetre al jugador part de la motivació que guia les accions de la criatura d'una forma que al jugador li semblarà més biològica i no tant artificial.

Demostrant emocions convincents s'aconsegueix que el jugador s'introdueixi més en el joc i ell mateix experimenti les seves pròpies emocions. En aquest projecte aquest és l'objectiu fixat pel que fa a les emocions, però encara es podria anar més enllà si es dotés a les criatures de capacitat empàtica; és a dir, transmetre la il·lusió de que són capaces de formar-se un model mental, no només de l'entorn, si no també de l'estat emocional de l'amo (el jugador). Demostrar un mínim d'empatia certament afegiria una nova dimensió cap al camí d'humanitzar més les criatures, enfortint encara més el lligam emocional entre el jugador i la criatura en notar el jugador que aquesta respon al seu estat emocional [Evans02].

---

## Sensacions, emocions i sentiments

No sembla haver-hi un conveni sobre quin és el rol que tenen les emocions sobre el comportament de les persones, i el grau d'influència i, fins i tot, assistència que aquestes proporcionen a la capacitat cognitiva encara es tema d'estudi. Inclús s'ha suggerit que la importància de les emocions és tal que aquestes són la font bàsica utilitzada per l'intel·lecte [Toda94]. Però aquest projecte no pretén entrar en aquesta discussió, i en els següents apartats es donen les definicions de sensació, emoció i sentiment sobre les que

es construeixen les criatures presentades, sense intenció de que sigui una definició correcte de la realitat, sinó només una definició adequada per les necessitats d'obtenir criatures que demostrin capacitats emocionals. Aquestes definicions es corresponen amb les donades en [Champanard04].

## Sensacions

*Una sensació és una reacció immediata a l'estat actual d'una criatura* [Champanard04].

Les sensacions són principalment causades per estímuls de l'entorn, però també poden venir provocades per canvis mentals de la criatura o del seu cos. Al seu torn, les sensacions són la font a partir de la qual la criatura experimenta les emocions, i en quin grau d'intensitat i temps ho fa.

Les sensacions tenen lloc instantàniament, tot i que pugui haver un cert retard entre la causa que les provoca i el moment en què la criatura les experimenta (principalment degut a un retard en la percepció). La seva durada és curta, instantània en l'arquitectura desenvolupada en aquest projecte.

En [Champanard04] les sensacions es produeixen com a resultat d'una seqüència d'esdeveniments percebuts o generats per la ment de la criatura (*estímuls* d'ara endavant). A aquestes sensacions llavors se'ls assigna una intensitat i un pes sobre cadascuna de les emocions a les que afecta. Aquest sistema de pesos també és utilitzat per [Gadanho01], però aquí el concepte de sensació es relaxa i s'allunya de l'equivalent biològic, sent una sensació qualsevol senyal que el robot proporciona que es vulgui que afecti directament a les emocions.

Les sensacions de les criatures desenvolupades en aquest projecte segueixen el mateix esperit d'assignar pesos de la influència d'una sensació sobre cada emoció. En canvi, però, no hi haurà una sensació concreta que pugui ser causada per més d'una font diferent, sinó que tot estímulo provocarà la seva pròpia sensació. A efectes pràctics, realment s'està establint una associació directa entre els estímuls i les emocions, però es manté el concepte de sensació per millor claredat. Així, es pot entendre una sensació

com la influència que té un estímul sobre cadascuna de les emocions. Addicionalment, el pes d'aquesta influència pot estar condicionada pels sentiments que tingui la criatura vers la font de l'estímul, els estats emocional i fisiològic de la criatura i, inclús, el valor d'algun atribut d'una de les entitats implicades en l'estímul. En la Taula 2.1 se'n mostra un exemple. El primer estímul de l'exemple indica que la criatura s'alegra més de menjar com més gana té. El segon mostra un exemple més complex, representant que es desperta ira segons l'estima vers qui és atacat, por segons la força de l'atacant i sempre tristesa dotant a la criatura d'un caire pacifista en no agradar-li els atacs, siguin contra sers estimats o no. El mecanisme és intuïtiu i fàcil d'ajustar, alhora que proporciona un ampli ventall de possibilitats.

**Taula 2.1** Dos possibles estímuls i les seves contribucions a cadascuna de les emocions.

| Estímul   | Alegria    | Tristesa | Ira           | Por          |
|-----------|------------|----------|---------------|--------------|
| Menjar    | 0.8·gana() | 0        | 0             | 0            |
| X ataca Y | 0          | 0.2      | 0.6·estima(Y) | 0.6·força(X) |

Malgrat tot, sempre hi ha casos especials que necessiten d'una fórmula un tant més complexa i personalitzada segons el joc. Realment aquests casos es poden solucionar amb un pas previ a la percepció, en el qual es generi estímuls més concrets a partir de l'estímul genèric que requereix d'una fórmula complexa. Llavors, els estímuls derivats ja serien prou específics com per poder anar en funció dels sentiments, emocions i atributs. Però també implicaria haver de generar una enorme multitud d'estímuls, la qual cosa no és desitjable ni a nivell de memòria ni, sobretot, a nivell de disseny de la criatura. La solució, doncs, passa per proporcionar la pròpia funció. Com que aquesta no és sabuda a priori, addicionalment a la possibilitat de tenir un pes en funció de l'estima, emocions o atributs, també es permetrà que depengui d'una funció implementada per mitjà d'un callback. Aprofitant el concepte es pot simplificar la implementació deixant que un pes només pugui dependre d'un callback, doncs l'estima i demés no són res més que casos particulars simples de les possibilitats del callback. Llavors cada callback tindrà un identificador únic conegut pel dissenyador del joc, de manera que continua gaudint de la mateixa claredat de disseny i amb un major ventall de possibilitats.



Comparativament, el concepte de sensació utilitzat per [Champanard04] proporciona una major simplicitat a l'hora d'ajustar la influència dels estímuls sobre les emocions. A canvi, però, s'ha guanyat en flexibilitat en poder ajustar individualment aquesta influència per cadascun dels estímuls i, a més, opcionalment també en funció dels paràmetres que es vulgui. Si en un joc el nombre d'estímuls diferents acabés per ser exageradament alt, sempre es pot afegir una capa extra que agrupi els estímuls en sensacions, obtenint el mateix grau de simplicitat.

## Emocions

*Una **emoció** és una característica duradora de l'estat d'una persona* [Champanard04].

És ben sabut que els humans podem experimentar una gran diversitat d'emocions, però quines d'aquestes són primàries, quines combinació de les primàries i, fins i tot, quines no són res més que diferents graus de les altres és un tema encara obert a discussió. Així, segons [Plutchik80] les emocions tenen 4 dimensions: positives o negatives, primàries o combinades, oposades (no es poden experimentar dues emocions antagòniques simultàniament), i d'intensitat variable. Considera que hi ha 8 emocions primàries (por, sorpresa, tristesa, disgust, ira, anticipació, alegria i acceptació), de les quals, combinant-les, surten 8 emocions secundàries (respecte, decepció, remordiment, menyspreu, agressivitat, optimisme, amor i submissió). La resta d'emocions es redueixen a ser diferents graus d'intensitat de les primàries i les secundàries. Un altre model classifica les emocions en una jerarquia d'arbre [Sanrock00]. Aquest és resultat d'un estudi realitzat sobre estudiants, els quals van valorar 213 termes d'emocions en funció de la freqüència en què s'experimenten i de la intensitat emocional que aporten. D'aquest arbre es pot extreure que, segons els estudiants, les nostres emocions bàsiques són l'amor, l'alegria, l'ira, la tristesa, la por i, en menor grau, la sorpresa. Hi ha d'altres models, però sembla assenyat centrar-se en les bàsiques proposades pels estudiants, doncs al cap i a la fi són les més representatives des del punt de vista de la percepció humana, i no s'ha d'oblidar que és imprescindible que les criatures siguin capaces de transmetre sense ambigüitats les seves emocions.

D'entre aquestes emocions bàsiques proposades pels estudiants, sembla raonable pensar que l'alegria i la tristesa segueixen el concepte d'emocions oposades suggerit per

[Plutchik80]. Tot i així, no es creu convenient imposar aquesta restricció, doncs implica afegir un grau extra de complexitat a l'arquitectura del tot innecessari i, a més, treu llibertat de creació al dissenyador de jocs. Tampoc hi ha el concepte d'emocions secundàries o com a producte d'un valor situat entremig de dues emocions oposades [Champandard04]. Simplement, per cada emoció que es vulgui que el personatge experimenti es mantindrà el grau d'intensitat en què s'està sentint. En canvi, sí que es classifiquen les emocions com a positives o negatives. Més endavant es veurà la importància d'aquesta classificació en els sentiments i en l'aprenentatge.

Les emocions, a diferència de les sensacions, tenen una durada més llarga. Quan una sensació incrementa una emoció, aquesta emoció no decau enseguida, sinó que ho fa lentament (veure la Figura 2.1). Això pot causar que més d'una emoció tingui nivells d'intensitat similars durant molt de temps. Evidentment, no és convenient que una criatura estigui en conflicte sobre quina emoció ha de demostrar, corrent el perill de que alterni successiva i ràpidament entre dues o més emocions, acabant per crear confusió al jugador. Per solucionar aquest problema s'introdueix el concepte d'emoció dominant; és a dir, que en tot moment hi haurà una emoció que prevaldrà sobre les altres [Gadanho01]. Una emoció continua mantenint el seu estatus de dominant fins que no hi ha una altra que la supera per un marge mínim. Això permet mantenir l'expressivitat de les emocions per part de la criatura en un estat de mínima estabilitat, especialment en front d'una possible successió ràpida de sensacions, i evitant, així, un comportament del tot antinatural que trenqui tota credibilitat.

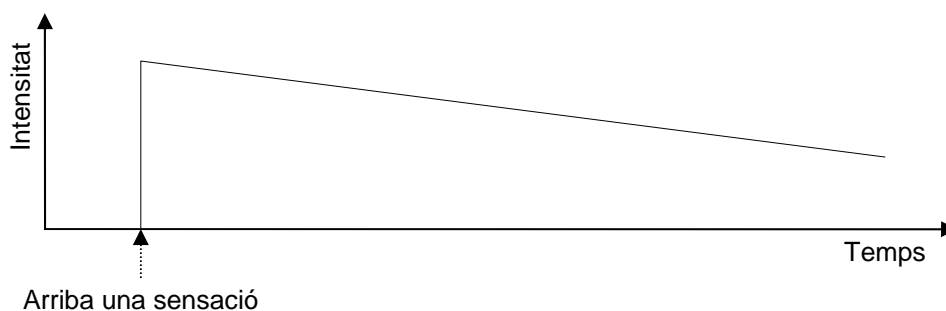


Figura 2.1 Creixement d'una emoció degut a una sensació i el seu posterior lent decaïment.

A [Gadanho01] encara es va més enllà en la persecució d'aquesta estabilitat en les emocions, afegint unes variables a les que es dóna el nom d'hormones, les quals

monitoritzen l'estat de les emocions i són les encarregades de mantenir-les i fer-les decaure lentament un cop la sensació que les ha fet augmentar desapareix. Es podria dir que les hormones fan la funció de record de que recentment s'ha experimentat una sensació que ha despertat una certa emoció, provocant, per tant, la mateixa sensació, però d'una intensitat cada cop menor com més llunyà és el seu record. Tot i que internament pugui ser un model més fidedigne de la realitat, externament s'aconsegueixen resultats similars als obtinguts amb la solució desenvolupada en aquest projecte. I, precisament, en un joc només interessa la impressió externa que es causa al jugador. Gràcies a aquesta característica dels jocs, es pot considerar suficient la solució proposada, estalviant un grau de complexitat.

Finalment, dir que de la mateixa manera que és important demostrar emocions quan aquestes tenen un alt nivell d'intensitat, no és convenient demostrar-les quan aquest nivell és molt baix. Per tant, si cap emoció no supera un mínim lliniar d'intensitat, es considera que no hi ha cap emoció activa, mantenint la criatura en un estat neutre pel que respecte a l'expressivitat que ha de demostrar al jugador.

## **Estat d'ànim**

*Un estat d'ànim és el conjunt total d'emocions que constitueixen l'estat mental d'algú en un moment donat [Champanard04].*

Es pot obtenir estats emocionals més complexos a partir de la combinació de diferents intensitats de les emocions primàries [Champanard04]. Al capdavall però, els humans acabem associant una sola emoció, ja sigui simple o complexa, amb l'expressió i comportament que percebem d'algú. Una vegada més, és important recordar que en un joc és vital simplificar al màxim allò que transmetem al jugador per evitar ambigüitats. Per tant, l'estat d'ànim de les criatures es correspondrà directament amb la seva emoció dominant. Aquestes, per altra banda, ja hauran estat degudament seleccionades pel dissenyador del joc per tal de que la criatura expressi aquelles emocions amb les que es vol que el jugador l'associï, independentment de que es puguin considerar simples o complexes.

## Sentiments

*Un sentiment és una associació persistent d'una emoció amb un tipus d'objecte [Champanard04].*

Les emocions, tot i ser més duradores que les sensacions, també tenen un temps finit, i necessiten de les sensacions per anar-se “regenerant”. A més, les emocions representen l'estat d'ànim de la criatura en relació a successos del passat més recent. Per contra, els sentiments perduren per sempre i s'associen a una entitat, independentment del seu marc temporal.

Evidentment, seria descabellat pensar de mantenir un sentiment per cada entitat individual que la criatura es pugui trobar. No només es consumiria molta memòria, sinó que tampoc s'aconseguiria generalitzar per objectes de menor rellevància. Per tant, és important que la criatura mostri sentiments particulars per a cada entitat clau del joc, però també ho és que comparteixi un mateix sentiment entre entitats secundàries del mateix tipus. Com ja és habitual, convé recordar que el joc està destinat a entretenir el jugador, així que la rellevància d'una entitat no s'ha de determinar en funció del seu grau d'importància respecte la criatura, sinó respecte l'impacte que té sobre el jugador. Aquest impacte haurà de ser escollit amb cura pel dissenyador del joc.

A diferència de les emocions, un sentiment té dos pols oposats i existeix un sol tipus de sentiment (estima/odi). El sentiment representarà un record de les sensacions que s'han tingut respecte una entitat (o tipus d'entitat), agrupant-les en positives i negatives. Així un sentiment no veu una sensació com una influència sobre cadascuna de les emocions individualment, sinó en quin grau la sensació ha despertat una major intensitat total d'emocions positives vers les negatives. Per tant, per determinar si una sensació és positiva o negativa i amb quina intensitat, simplement cal sumar la contribució que la sensació aporta als dos conjunts d'emocions i la diferència entre ambdós dictarà la intensitat amb què la sensació es pot considerar positiva o negativa.

Llavors, de la mateixa manera que succeeix amb les emocions, les sensacions també són les responsables de les modificacions dels sentiments, que en aquest cas, a més, s'associen a una entitat o tipus d'entitat concreta. Però els sentiments no creixen tant

sobradament com les emocions, sinó que ho fan més lentament. Això implica que l'aportació d'una sensació a un sentiment és només una petita fracció de la intensitat total que aporta a les emocions, de forma que calen moltes sensacions per desenvolupar un sentiment intens. De la mateixa manera, un cop un sentiment ha assolit un nivell intens vers un dels seus dos pols, per fer-lo canviar de signe també caldrà una bona quantitat de sensacions de signe contrari. Tot i així, aquest creixement no és lineal, sinó que s'alenteix en el sentit del pol dominant. A més, es tendeix asimptòticament cap al màxim d'intensitat d'ambdós pols. La funció sigmoïdal bipolar compleix perfectament amb aquests requisits, així que els sentiments es modelen amb aquesta funció (veure la Figura 2.2). De pas es té l'avantatge afegit de no haver de portar un registre de les sensacions experimentades, que d'altra banda faria inviable la creació de la criatura degut als estrictes requeriments de memòria als que està sotmesa.

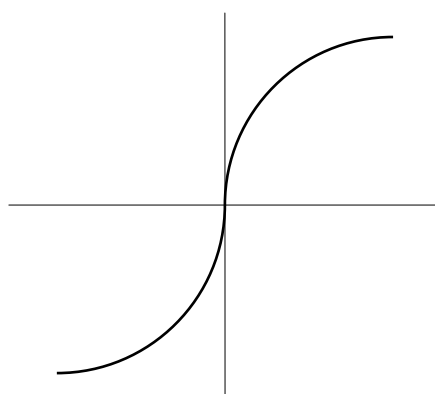


Figura 2.2 Funció sigmoïdal bipolar.

A diferència de les emocions, els sentiments no es demostren directament al jugador, sinó indirectament afectant a la intensitat de les emocions. Recordar que la intensitat amb què una sensació afecta a una emoció pot estar en funció del sentiment que té la criatura respecte l'entitat afectada (tal i com s'ha mostrat a la Taula 2.1). Per tant, el jugador apreciarà els sentiments de la criatura a través de les emocions que demostra vers les entitats.

## Personalitat

Si totes les criatures es comportessin igual en front de les mateixes situacions es perdria tota la credibilitat. És important, doncs, que el jugador pugui atribuir una *personalitat*

pròpia a cada criatura. Així doncs, interessa que totes les criatures siguin capaces de demostrar les mateixes emocions, però per motius i situacions ben diferents, la qual cosa dictarà la seva personalitat. Com que són els estímuls els que influeixen en les emocions, per obtenir diferents personalitats entre dues criatures només cal establir una diferent relació de pesos en la influència dels estímuls sobre les emocions. La resta pot ser compartit entre ambdues criatures. Per exemple, una criatura pot respondre amb ira en veure que algú fa mal a un ser que estima, mentre que una segona criatura pot respondre amb tristesa. Ajustar la personalitat serà el que portarà major feina al dissenyador del joc en relació a la criatura, però la simplicitat i flexibilitat d'aquest mecanisme li proporcionarà prou possibilitats d'obtenir diferents personalitats creïbles amb un termini raonablement curt.

Evidentment, no hem d'oblidar que en un MMOG es pot estar parlant tranquil·lament de milers de criatures. Ajustar una personalitat per cadascuna d'elles és absolutament inviabl. Tot i així, tant en el joc com des del punt de vista del jugador sempre s'acaben per agrupar les criatures (i personatges no jugador) en tipus. Sovint un jugador atribueix uns certs trets característics d'una personalitat a totes les criatures del mateix tipus. Aprofitant això, el dissenyador del joc pot establir una personalitat base per cada tipus de criatura i encarregar al programador que n'alteri lleugerament els pesos de forma aleatòria per cada nova criatura del mateix tipus. O no. Al cap i a la fi, el dissenyador del joc és qui té l'última paraula i pot optar per alguna altra solució que cregui que s'escaurà millor pel joc concret que està dissenyant; com, per exemple, seguir amb la mateixa idea de generació de personalitats a partir de personalitats base, però ara repartir-les indistintament del tipus al que pertanyi una criatura. De fet, que dues criatures tinguin el mateix ajustament de pesos en la relació estímuls-emocions no significa necessàriament que s'hagin de comportar igual en front d'una mateixa situació. És molt probable que dues criatures hagin tingut experiències passades diferents vers una mateixa entitat i, gràcies als sentiments i tot i tenir la mateixa configuració de pesos estímuls-emocions, poden reaccionar diferent en estar subjecte aquesta relació als sentiments. Realment la personalitat d'ambdues criatures en aquest cas és la mateixa, però no des de la percepció del jugador, que és el que compta al capdavall.

---

## Demostrar emocions

Fins ara s'ha recalcat contínuament que és de vital importància el fet de que la criatura mostri les seves emocions al jugador, o d'altra banda aquestes li passaran desapercubudes. Típicament això s'aconsegueix a través de les animacions, expressions, gestos, sons i comportaments que efectua la criatura:

- **Animacions.** L'actitud amb la que es mou una criatura diu molt del seu estat d'ànim. Per tant, és bo poder disposar de més d'una animació per assolir un mateix fi, però imprimint-li a cadascuna una actitud diferent d'acord amb cadascuna de les emocions que pot experimentar la criatura. Per exemple, si la criatura camina amb el cap cot i lentament, el jugador ho pot associar a un estat de tristesa.
- **Expressions.** Els humans podem determinar l'estat emocional d'una altra persona simplement observant les seves expressions facials. Conseqüentment, és interessant dotar de diferents expressions facials a les criatures. Per exemple, uns ulls ben oberts poden demostrar por.
- **Gestos.** També els gestos diuen molt de l'estat emocional, alguns associats directament a emocions concretes. Per exemple, l'ira es pot expressar amb un moviment violent dels braços.
- **Sons.** En el món animal trobem multitud de casos en què l'estat d'ànim es comunica a través de sons (sovint acompanyats de gestos). També en els humans existeixen sons característics associats a certes emocions. Per exemple, el so d'una rialla és inconfusible d'una intensa alegria. Si el joc, a més, conté veu, el to d'aquesta pot servir per denotar un estat emocional.
- **Comportaments.** També el comportament que es realitza és un reflex de l'estat d'ànim. Tot i que aquests tarden una mica més en comunicar les emocions, poden acabar-ho fent d'una manera més intensa.

Crear tot aquest contingut per què les criatures demostrin les seves emocions al jugador pot quedar fora de l'abast del pressupost invertit en el joc, especialment si el nombre de criatures és elevat, com succeeix exageradament en un MMOG. Afortunadament no és imprescindible crear-ho tot, amb un mínim d'ells es pot aconseguir bons resultats, però s'haurà d'escollir sàviament per cada joc i criatura concreta. Davant del dubte no s'ha

d'escatimar mai, o les criatures fallaran completament a semblar emocionals davant del jugador. Si realment es dubte i no es disposa de prou pressupost per afegir un contingut més, és millor replantejar-se l'opció de que el joc contingui criatures emocionals.

## Utilització del contingut emocional

Les animacions, gestos, sons i, en definitiva, tot el contingut emocional a demostrar en tot moment ve determinat per l'emoció dominant, la qual marca l'estat d'ànim de la criatura i, per tant, l'emoció que s'ha de transmetre al jugador. Tot i així, les animacions i les expressions s'apliquen seguint una estratègia i freqüència diferents que els gestos i els sons:

- **Animacions i expressions.** Directament es transmet l'emoció dominant al sistema motor<sup>1</sup> de la criatura, de manera que aquest pugui executar l'animació i expressió amb l'actitud que s'escau a l'emoció. En un cas ideal, per cada emoció es crearia l'animació i expressió corresponent a l'estat de màxima intensitat de l'emoció, més una animació i expressió en estat neutre (és a dir, quan no hi ha cap emoció activa). Llavors s'obtidrien les diferents intensitats interpolant entre ambdós extrems. Malauradament això representa un important esforç tecnològic, amb el conseqüent cost econòmic i temporal. Una altra opció, de menor requeriments tecnològics, és discretitzar la intensitat i tenir una animació i expressió per cada nivell. Per desgràcia això també representa un increment econòmic important, difícilment justificable. Afortunadament, crear una animació i expressió per cada emoció, independentment de la seva intensitat, és suficient (tot i que evidentment no tant ric emocionalment com succeeix amb les altres dues opcions).
- **Gestos i sons.** A diferència de les animacions i expressions, que tenen una durada constant lligada al temps que duri l'emoció dominant que representen, els gestos i sons es realitzen de tant en tant. També volen comunicar al jugador l'emoció dominant de la criatura, però la seva funció serà la de posar èmfasi en la llarga durada d'una emoció. La freqüència amb la que tenen lloc no ha de

---

<sup>1</sup> El sistema motor pot rebre altres noms, com ara sistema d'animació, però s'entén com la interfície utilitzada per l'agent, que representa la ment de la criatura, per manipular el seu cos [Carles02].



perquè ser constant, ni es pot extreure d'una fórmula màgica. El dissenyador del joc serà qui l'establirà. Tampoc el grau de varietat d'aquests gestos i sons es pot extreure de cap recepta, tot i que sembla raonable que a mesura que l'emoció dominant es prolonga per més temps els gestos i sons utilitzats siguin més enèrgics amb l'esperit de ressaltar aquest fet.

Els humans som força sensibles als xocs emocionals, pel que també és recomanable que la criatura els expressi. Un *xoc emocional* es produeix quan s'experimenta un canvi de l'emoció dominant degut a una forta sensació. Així, quan s'esdevé aquesta situació, s'informa al sistema motor de quina és l'emoció i font de la sensació que ha provocat el xoc emocional, de manera que aquest pugui actuar en conseqüència. Idealment es realitzarà una combinació dels diferents tipus de contingut emocional, degudament creats per expressar sense ambigüitats l'emoció que experimenta la criatura i a què és degut. Com de costum, a major diversitat en el contingut sobre xocs emocionals, major serà també la riquesa emocional transmesa al jugador, però aquesta diversitat haurà d'estar subjecte a les limitacions en el pressupost destinat al joc.

## **Alteració de la percepció**

Una altra forma de demostrar un estat emocional és alterant la capacitat de percepció de les criatures en funció de cada emoció. En alguns jocs pot arribar a ser un element clau de la jugabilitat, però en altres es pot aconseguir tot l'efecte contrari. Per tant, decidir si cal i en quin grau és responsabilitat del dissenyador del joc.

No és l'objectiu d'aquest projecte entrar en detall en el mecanisme de percepció, que d'altra banda és molt específic de cada joc. De totes formes, com a guia a continuació s'indica les característiques de la percepció que es veuen alterades més sovint per les emocions:

- **Llindar de percepció.** Una criatura pot estar més o menys alerta segons sigui el seu estat emocional. Associant una intensitat als estímuls que es perceben de l'entorn, es pot establir un llindar mínim per sota del qual els estímuls es descarten en considerar-se que li passen desapercebuts a la criatura en no estar prou alerta [Carles02]. Aquest llindar llavors variaria segons l'estat emocional.

- **Camp sensorial.** L'estat d'alerta també determina el rang del camp sensorial. Amb una major alerta la criatura s'adonarà de fenòmens més llunyans, mentre que una menor alerta restringirà la percepció als més propers.
- **Retard de percepció.** Retardar la resposta a una percepció també és una bona eina per demostrar certes emocions. Certament, amb algunes emocions es respon més ràpid als esdeveniments que amb d'altres.
- **Soroll.** Les emocions també poden influir en la qualitat dels estímuls que es perceben, de manera que aquests arribaran més o menys distorsionats. Si és gestionat bé, això no és un problema per la criatura. De fet, es pot convertir en un aspecte molt interessant per dotar a la criatura d'errors naturals i, per tant, augmentar la seva credibilitat.

La llista anterior no pretén ser exhaustiva, només orientativa. Cada joc tindrà les seves pròpies necessitats i capacitats de percepció.

---

## Sistema emocional

Les sensacions, emocions, sentiments i demés aspectes relacionats amb l'estat emocional estan gestionats conjuntament pel sistema emocional de la criatura. Aquest sistema es pot veure com una caixa negra a la que li arriben sensacions i en treu l'estat emocional de la criatura (veure la Figura 2.3).

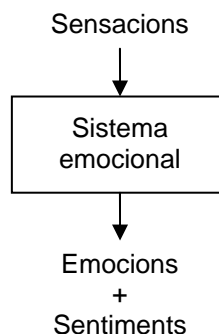


Figura 2.3 Sistema emocional vist com una caixa negra.

Pràcticament tots els sistemes de la criatura utilitzen en menor o major grau l'estat emocional, quedant de manifest la importància que tenen les emocions en la criatura i el seu comportament en general:

- **Sistema motor.** Com ja s'ha descrit anteriorment, el sistema motor necessita l'estat emocional per saber quin contingut emocional aplicar en tot moment.
- **Sistema d'adaptació.** Més endavant es veurà la influència que tenen les emocions sobre el procés d'aprenentatge i selecció de comportament, dut a terme pel sistema d'adaptació.
- **Sistema de percepció.** Per alguns estímuls el sistema de percepció ha de generar sensacions en funció de les emocions i sentiments. També, en cas de que es vulgui que la capacitat de percepció variï en funció de les emocions tal i com s'ha comentat anteriorment, és imprescindible que el sistema de percepció conegui l'estat emocional.

L'actualització de les emocions i sentiments dins el sistema emocional té lloc en tres fases, més una de prèvia que es produeix en el sistema de percepció, però que es detalla aquí degut a la seva estreta relació amb el sistema emocional. Tres d'aquestes s'executen seqüencialment, mentre que la darrera té lloc en paral·lel:

1. **Transformació d'estímuls a sensacions.** És la primera fase, i té lloc dins el sistema de percepció. S'encarrega de generar sensacions a partir dels estímuls que recullen els sentits i donar-les al sistema emocional.
2. **Transformació de sensacions a emocions.** Per cada sensació que el sistema de percepció li envia, modifica les emocions en concordança.
3. **Transformació de sensacions a sentiments.** Obté el valor net de la sensació (positiu/negatiu) i l'usa per variar el sentiment corresponent a l'entitat causant de la sensació, però en menor proporció que en el cas de les emocions.
4. **Decaïment de les emocions.** Disminueix la intensitat de les emocions en funció d'una velocitat constant de decaïment. Aquesta fase no depèn de les sensacions, de manera que pot tenir lloc en paral·lel a les altres tres.

## Transformació d'estímuls a sensacions

Un estímulo pot afectar a cada emoció d'una forma constant o variable per mitjà d'un callback. El callback representa una funció més o menys complexa basada en els sentiments, emocions, atributs fisiològics o qualsevol paràmetre que es cregui convenient que ha d'influir en l'impacte emocional provocat per l'estímulo (veure la Figura 2.4). Si no es proporcionés aquesta opció s'estaria obligat a definir un estímulo per cada variant possible (i a sobre discretitzant segurament), la qual cosa representaria una quantitat enorme d'estímuls. I més estímuls representen un major esforç invertit en el desenvolupament de la criatura, especialment de la seva personalitat. També el cost en memòria es veu severament augmentat.

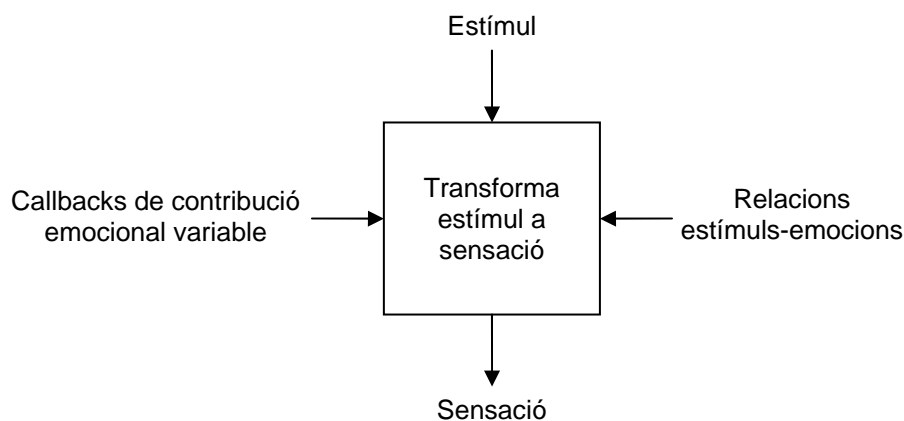


Figura 2.4 Elements que influeixen en la generació d'una sensació.

Les relacions entre els estímuls i les emocions es guarden en una taula, on cada casella s'accedeix a partir de l'identificador de l'estímulo i l'emoció. En la casella s'hi troba la proporció amb què l'estímulo modifica l'emoció, a més d'un camp opcional que conté el callback si s'escau, el valor retornat del qual es multiplicarà pel pes anterior per obtenir la contribució final de l'estímulo a l'emoció que la casella representa.

Consultar la taula té un cost molt baix (una mica més alt si implica una crida a un callback). Per contra, la memòria necessitada pot arribar a l'ordre de Kb, fins i tot desenes de Kb. Per una sola criatura pot semblar poc, però en el cas d'un MMOG, on poden viure-n'hi milers, podem estar parlant de centenars de Mb. I això sense comptar

el cost que té la resta de la criatura. Avui dia fàcilment trobem servidors<sup>1</sup> amb memòria de l'ordre de Gb, o sigui que podria ser un cost en memòria assumible. Tot i així, seria molt presumptuós pensar que el joc no vol treure major partit de l'elevada quantitat de memòria de què disposa el servidor. Per permetre això es reprèn el fil discutit anteriorment sobre la creació de múltiples personalitats, en el qual es suggeria la idea de que per moltes criatures el dissenyador del joc estarà obligat a definir només unes poques, en proporció, personalitats base diferents, sent la resta simples variacions d'aquestes últimes. Aprofitant aquesta filosofia, les personalitats base es crearan també en unes taules base, mentre que ara cada criatura ja no conté tota la taula, sinó només aquelles entrades que variïn respecte la taula base (veure la Figura 2.5). Aquesta solució incrementa poc el cost d'accés a la taula, i permet ajustar tant com es vulgui la memòria invertida en les personalitats de les criatures: a major varietat de personalitats, major memòria.

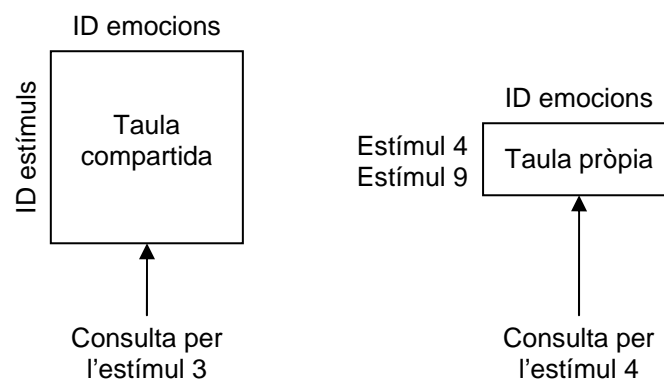


Figura 2.5 Exemple d'una taula base de relacions estímuls-emocions i dues entrades redefinides exclusivament per la criatura.

El procés d'obtenció de la contribució d'un estímulo a una emoció s'ha de repetir per totes les emocions per generar-ne la sensació corresponent. En acabat s'obté la sensació, composta per cadascuna d'aquestes contribucions emocionals. També s'hi guarda el tipus d'entitat causant de l'estímul, que serà utilitzat posteriorment en el procés d'actualització del sentiment associat a l'entitat en qüestió i, a vegades, transmès al sistema motor durant l'aplicació de la sensació sobre les emocions.

<sup>1</sup> Un MMOG es basa en l'arquitectura client/servidor.

## Transformació de sensacions a emocions

Com que les sensacions ja contenen la quantitat per la que s'ha de modificar cada emoció, simplement cal sumar aquests valors a les emocions. Cal però vigilar que l'emoció no surti dels seus límits d'intensitat. Un cop aplicada la sensació, és moment de comprovar si hi ha una nova emoció dominant, i si aquesta ve o no acompanyada d'un xoc emocional (veure la Figura 2.6). Llavors s'envia al sistema motor quina és l'entitat dominant i la seva intensitat, mentre que si es produeix un xoc emocional també se li passa el tipus d'entitat causant (contingut dins la sensació) més l'increment experimentat per l'emoció dominant. Aquests dos últims paràmetres permeten al sistema motor escollir d'entre diferents continguts emocionals representatius de cada situació per una mateixa emoció.

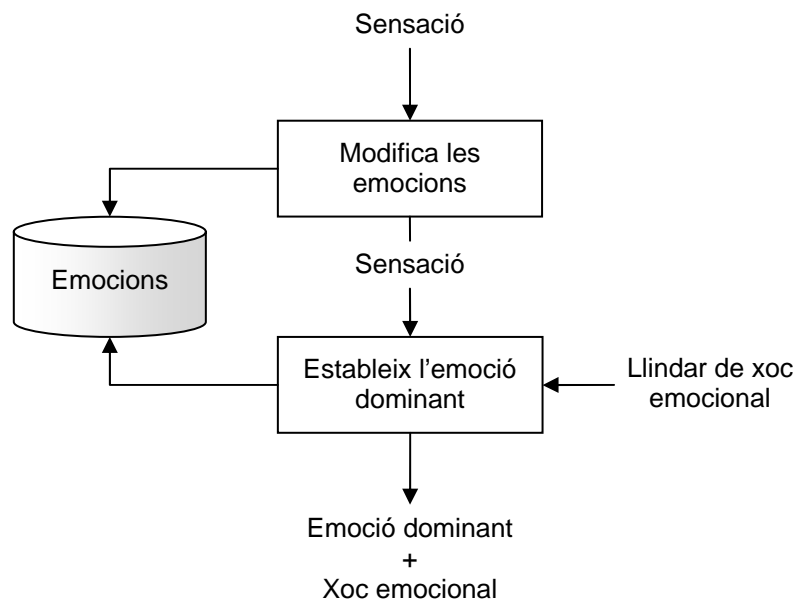


Figura 2.6 Procés d'aplicació d'una sensació sobre les emocions.

Recordar que una emoció passa a ser la dominant quan supera l'anterior dominant per un marge mínim. Mentre que el xoc emocional es produeix quan un canvi d'emoció dominant és degut a una sensació molt intensa; és a dir, a un increment molt alt de l'intensitat de l'emoció.

## Transformació de sensacions a sentiments

Per aquelles sensacions que contenen un tipus d'entitat causant (no totes han de ser necessàriament provocades per una entitat), se n'obté el valor emocional net, el qual és la diferència entre la suma de totes les contribucions d'emocions positives i la suma de les negatives. Llavors s'afegeix aquest valor al sentiment associat al tipus d'entitat que acompanya la sensació (veure la Figura 2.7). En cas de que encara no hi hagi cap sentiment associat al tipus d'entitat, aquest és creat amb el valor net de la sensació.

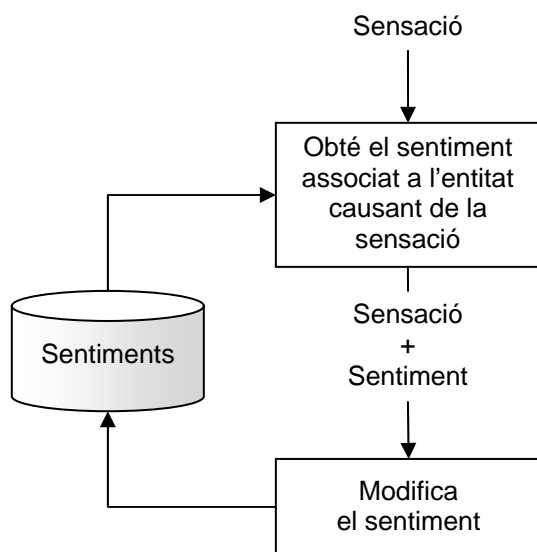


Figura 2.7 Procés d'aplicació d'una sensació sobre el sentiment vers el tipus d'entitat causant de la sensació.

Realment el valor del sentiment final no és el valor guardat, sinó que quan es necessita conèixer el sentiment respecte un tipus d'entitat aquest s'obté aplicant-li la funció sigmoïdal bipolar.

## Decaïment de les emocions

Finalment, les emocions han d'experimentar el seu decaïment natural, lent però constant, amb el pas del temps. En aquesta fase simplement es decrementa cadascuna de les emocions per un factor constant de decaïment proporcional al temps transcorregut des de l'últim cop que s'ha realitzat aquest mateix procés (veure la Figura 2.8). Aquest factor es determina a nivell de disseny de la criatura.

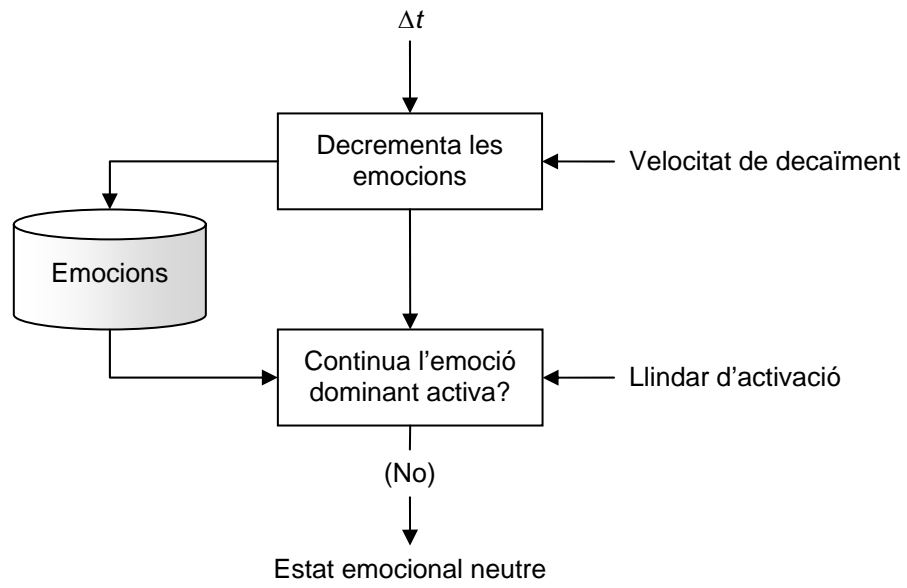


Figura 2.8 Procés de decaïment de les emocions.



# Capítol 3. Criatures que aprenen

---

## Introducció

Els móns dels jocs estan creixent en complexitat i les possibilitats que ofereixen de ser manipulats són cada cop majors. La conseqüència d'això és que pretendre que un personatge tingui implementada directament una reacció individual adequada i convincent per cada situació és cada cop més inviable. Els personatges, per tant, fàcilment es trobaran en situacions que no es poden preveure en temps de disseny, però igualment necessiten reaccionar-hi correctament. Això comporta que hagin d'aprendre a generalitzar les possibles situacions en què es trobaran i les accions a fer en cadascuna d'elles. En definitiva, s'han d'adaptar a l'entorn.

La majoria de jocs que utilitzen tècniques d'aprenentatge prefereixen fer aquesta adaptació prèviament al llançament comercial del joc, fixant l'aprenentatge just abans del llançament [Barnes02]. El motiu és la desconfiança en un camp tant nou en els jocs i difícil de controlar com és l'aprenentatge, la qual cosa porta a no arriscar-se a que el comportament dels personatges pugui degenerar a l'ordinador del jugador o sortir-se dels límits d'habilitat als que se'ls vol mantenir [Manslow02]. Els pocs que incorporen l'adaptació posteriorment al llançament ho fan com una característica central en la jugabilitat del joc. En aquests jocs el jugador ja és directament responsable de l'evolució del personatge que aprèn i qualsevol desviació "estranya" del seu comportament ja forma part de les opcions d'entreteniment que ofereix el joc al jugador [Evans02].

Però es preveu un canvi d'actitud i la incorporació de l'aprenentatge ja s'anticipa com possiblement un dels majors avanços en la història de la intel·ligència artificial dels jocs [Manslow02]. Els motius són clars:

- **Realisme.** Respondre d'una forma adequada i creïble a qualsevol situació és bàsic per crear il·lusió d'intel·ligència i, per tant, millorar el realisme del joc.

- **Adaptació.** Adaptant-se a les habilitats particulars de cada jugador se li proporciona el nivell òptim de dificultat que maximitza la diversió del jugador indistintament del seu nivell, a més d'oferir-li una vida més llarga del joc en evolucionar aquest junt amb el jugador.

En vista dels enormes beneficis que s'obtenen, a les criatures que es desenvolupen en aquest projecte se'ls hi proporciona capacitat d'aprenentatge. I més concretament, aprenentatge enfocat a tenir lloc durant la partida del jugador, no congelat en el moment del llançament del joc. De fet, les criatures (recordar que en el marc d'aquest projecte són mascotes que acompanyen el jugador) es considerarà que tot just han nascut i encara no tenen cap experiència sobre quines accions realitzar en cada situació. Evidentment res no priva d'oferir al jugador mascotes "adultes", prèviament entrenades.

---

## Política d'aprenentatge

Si les criatures neixen sense cap mena de coneixement sobre quina és la millor acció a realitzar en front de cada situació, certament hauran d'aprendre seguint el mateix sistema que els nou nascuts: prova i error, mesurant l'èxit a partir del premi obtingut. I precisament, els mètodes d'aprenentatge per reforçament (*reinforcement learning*) s'adeqüen bé a aquest sistema, donant bons resultats. De fet, l'aprenentatge per reforçament ja s'ha usat en algun joc amb èxit [Evans02].

En el següent apartat es descriu per sobre en què consisteix l'aprenentatge per reforçament; però no pretén ser-ne una descripció exhaustiva ni de bon tros, només donar els conceptes essencials per entendre el funcionament de la criatura i el seu sistema d'adaptació. A més, sovint l'explicació es fa tenint en ment l'aplicació sobre la criatura, no des d'un punt de vista més genèric. Per aprofundir més en l'aprenentatge per reforçament es recomana començar per [Sutton98]. I per un exemple de la seva aplicació en un joc del tipus FPS (*First Person Shooter*) consultar també [Champanar04].

## Aprentatge per reforçament

L'aprenentatge per reforçament (RL d'ara endavant) persegueix optimitzar la *política* d'acció seguida per la criatura. Aquesta política dicta en cada situació quina és l'acció que la criatura ha de realitzar. Per tant, amb RL es busca trobar quina és la millor acció davant de cada situació. Per fer-ho, RL es basa amb un senyal de reforçament obtingut com a conseqüència de realitzar una acció (veure la Figura 3.1). El senyal de reforçament representa el *premi* atorgat a la criatura per l'acció efectuada, de manera que pugui avaluar-ne l'eficàcia.

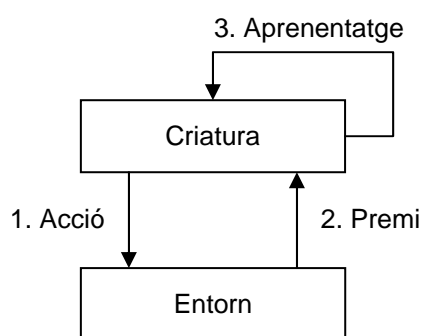


Figura 3.1 Model d'aprenentatge per reforçament implantat en una criatura.

Òbviament, calcular el premi correcte és clau per un bon aprenentatge. El problema està en què no sempre és evident com s'ha d'obtenir. Ni necessàriament ha d'arribar enseguida que l'acció es realitza, sinó que pot arribar posteriorment i, llavors, associar-lo amb l'acció (i fins i tot en quin grau) ja no és tant trivial. Més endavant es veurà com s'obtenen els premis i com aquests depenen de l'estat emocional, l'objectiu de la criatura i les indicacions de l'amo.

La gràcia de RL és que es pot utilitzar per aprendre quina és la millor acció a seguir, no per obtenir el màxim premi a curt termini, sinó a llarg termini. Encara que la política apresada dicti seguir una acció que, per la situació actual, potser no aporta el màxim premi immediat, per aquella acció s'estima que a la llarga el premi acumulat serà major. En RL a aquesta acumulació de premis futurs se l'anomena *retorn esperat*.

Evidentment, hi ha un problema: les criatures no tenen un objectiu final concret, sinó una successió infinita d'objectius. Convé, doncs, posar un límit de temps en el futur per

calcular el retorn esperat. Però, també és cert que en els humans sovint ens guiem per la motivació d'obtenir premis de forma més immediata, sense mirar tant a llarg termini. Si es combinen aquestes dues idees, llavors interessa que el retorn esperat valori més els premis com més propers en el temps siguin, fins arribar a un punt on els premis posteriors ja no siguin significatius i es pugui aturar el càlcul. Això s'aconsegueix usant el que s'anomena un *premi rebaixat* (*discounted reward*). Un premi rebaixat significa un premi escalat per un factor menor que 1, típicament anomenat factor  $\gamma$ . Llavors, per obtenir el retorn esperat s'escala cada premi per una potència de  $\gamma$ , major com més en el futur es trobi el premi. L'equació 3.1 calcula el retorn esperat, on  $R_t$  correspon al retorn esperat per l'instant  $t$  i  $r_{t+i}$  al premi per l'instant  $t+i$ .

$$R_t = r_{t+1} + r_{t+2} \cdot \gamma + r_{t+3} \cdot \gamma^2 + \dots + r_{t+K} \cdot \gamma^K \quad (3.1)$$

Com que calcular el retorn esperat no és trivial, l'objectiu de l'algorisme d'aprenentatge basat en RL serà aprendre l'estimació més propera possible al retorn esperat per cada situació en endavant, o per cada acció permesa en cada situació. A cadascun dels primers se'ls anomena *valor d'estat*, mentre que als segons *valor d'acció* o *valor Q*. Els valors Q són els que interessin a la criatura. Per desgràcia, la quantitat de parelles acció-situació pot arribar a ser enorme, superant de llarg l'escassa memòria que el joc pot assignar a cada criatura. La solució seguida es detallarà més endavant, la qual, a grans trets, es basa en agrupar les accions en comportaments i usar xarxes neuronals per estimar els valors Q.

Existeixen diversos algorismes d'aprenentatge de RL, cadascun útil per diferents situacions. Clarament n'interessa un que pugui aprendre de forma incremental i no necessiti coneixement addicional de l'entorn més enllà del que sap la criatura. S'adequa bé a ambdós requeriments l'algorisme anomenat *Q-learning*, pertanyent al grup d'algorismes d'aprenentatge anomenat *temporal-difference learning*. Els algorismes d'aquest grup es caracteritzen per actualitzar l'estimació del retorn esperat per una situació de joc utilitzant l'estimació de la següent situació de joc:

$$\Delta_t = r_{t+1} + \gamma \cdot V(s_{t+1}) - V(s_t) \quad (3.2)$$

$$V(s_t) \leftarrow V(s_t) + \alpha \cdot \Delta_t \quad (3.3)$$

L'equació 3.2 representa l'ajustament necessari a fer sobre l'estimació a actualitzar. Efectivament, si  $V(s_t)$  és l'estimació del retorn esperat per la situació  $s$  en l'instant  $t$ , llavors  $\Delta_t$  és igual a la diferència entre el premi obtingut durant el canvi de situació i el que s'estimava (fixar-se que si l'estimació és òptima, llavors  $V(s_t) = R_t$ , quedant  $\gamma \cdot V(s_{t+1}) - V(s_t) = -r_{t+1}$ , cas en què la correcció resultant és 0). Finalment, en l'equació 3.3 s'aplica l'ajustament, escalat per una constant  $\alpha$ , que és la velocitat d'aprenentatge.

L'algorisme *Q-learning*, com indica el seu nom, aprèn els valors Q per cada situació. Per la situació actual  $s_t$  aquest és el valor estimat per l'acció  $a$  presa (veure l'equació 3.4), mentre que per la següent situació  $s_{t+1}$  es correspon amb el major dels seus valors Q (veure l'equació 3.5). Normalment per la situació actual també es correspondrà amb el major dels valors Q, però més endavant es veurà com convé que no sempre sigui així.

$$V(s_t) = Q(s, a) \quad (3.4)$$

$$V(s_{t+1}) = \text{màx}[ Q(s_{t+1}, a_1), Q(s_{t+1}, a_2), \dots, Q(s_{t+1}, a_K) ] \quad (3.5)$$

## Xarxes neuronals

Abans d'entrar en detall en com s'obtenen i avaluen els premis, convé recordar que s'ha d'aprendre l'estimació del retorn esperat per cada parella acció-situació. Això clarament representa una quantitat enorme de memòria totalment inassumible. Per resoldre aquest problema es defineixen objectius a assolir per mitjà de comportaments. Cada comportament realitzarà les accions que cregui necessàries en tot moment per assolir l'objectiu que persegueix. Llavors cada valor Q ja no s'associa a una parella acció-situació, sinó a una parella comportament-situació. Els comportaments afegixen una avantatge addicional, que és la d'estalviar-se l'aprenentatge necessari per desenvolupar els comportaments bàsics. A canvi es perd en la flexibilitat que es té en aprendre a nivell d'acció, amb la potencial aparició a la llarga de més i millors comportaments. De totes formes el temps necessari per aprendre comportaments coherents si es treballés a

nivell d'acció seria excessiu per un joc<sup>1</sup>, doncs els jugadors rarament tenen tanta paciència.

S'ha reduït força la memòria necessària, però per emmagatzemar tots els valors Q de les parelles comportament-situació encara es necessitaria una taula excessivament gran. La segona part de la solució passa per substituir la taula per xarxes neuronals. Més concretament, es té una xarxa neuronal per cada comportament. A més, a cada xarxa neuronal només se li donarà les entrades que es creu més rellevants pel comportament corresponent. Per tant, cada xarxa neuronal donarà els valors Q d'un cert comportament per tot aquell rang de situacions en què el comportament té sentit.

L'ús de xarxes neuronals per emmagatzemar la política ja s'ha suggerit anteriorment [Lin92]. Les xarxes neuronals s'entrenen per *backpropagation* i, tot i que l'aprenentatge resulta ser menys acurat [Gadanho02], la qualitat encara és prou bona, s'evita discretitzar els números reals i la memòria necessària es redueix dràsticament. De fet, es redueix prou com perquè sigui viable pensar en que cadascun dels milers de personatges no jugadors d'un MMOG pugui aprendre de forma individual. Efectivament, amb les proves realitzades s'ha obtingut que el cost mig d'una xarxa neuronal per un comportament típic d'un personatge no jugador secundari (els més abundants) pot estar al voltant de mig Kb. Si suposem una mitja raonable de 20 comportaments diferents per personatge secundari, es tenen 10 Kb per personatge. Llavors s'estaria parlant de l'ordre de centenars de Mb per tots els personatges, potser menys.

Però es dóna la paradoxa de que difícilment és útil i justificable que en un joc els personatges secundaris aprenguin individualment (si que ho és clarament pels principals, com les mascotes que s'usen d'exemple per aquest projecte). Això és degut a que la interacció d'un jugador amb un personatge secundari sol ser curta, de manera que el jugador difícilment té temps d'adonar-se de les diferències individuals entre personatges secundaris del mateix tipus. No obstant, gràcies al recent boom dels MMOG, cada cop és més freqüent jugar en móns persistents, on sí que té un enorme sentit que els personatges secundaris evolucionin, encara que, com ja s'ha dit, no és

---

<sup>1</sup> Per un entrenament a realitzar durant el desenvolupament del joc sí que pot ser interessant l'aprenentatge a nivell d'acció.

necessari que ho facin de forma individual. Per tant, es proposa seguir una solució semblant a la utilitzada en el sistema emocional per reduir el cost en memòria degut a les taules de relacions estímuls-emocions: compartir xarxes neuronals entre personatges secundaris del mateix tipus. L'avantatge que s'obté no és només una reducció de memòria, sinó també un aprenentatge realitzat de forma col·lectiva, el qual donarà al jugador la impressió de que es comuniquen les experiències entre "col·legues" i n'aprenen. De fet, convindrà que la velocitat d'aprenentatge d'aquests sigui menor que la dels personatges que aprenen individualment, o es produirà una adaptació a dues velocitats en el món del joc degut a la gran diferència entre el nombre d'experiències acumulades del col·lectiu en front de la individualitat. Trobar l'equilibri no és fàcil i requerirà un ajustament únic per cada joc.

Resolt el problema de la memòria, convé no oblidar el cost computacional. Consultar un valor  $Q$  en una xarxa neuronal té un cost més alt que en el cas d'una taula, però aquest cost continua sent molt baix i poc preocupant. En canvi, tot i que des del punt de vista d'una sola criatura entrenar una xarxa neuronal pot semblar que té un cost assumible, aquest es dispara alarmantment quan estem parlant de milers de criatures. Afortunadament, amb la substitució de les accions pels comportaments en l'aprenentatge, ja s'ha reduït el nombre d'entrenaments necessaris, doncs no cal entrenar per totes i cadascunes de les accions realitzades pel comportament, només un cop pel comportament en si. Addicionalment, cada MMOG implementa un sistema de control de LOD (*Levels Of Detail*). A grans trets, aquest sistema dóna diferents prioritats d'actualització dels personatges, on cada prioritat significa una diferent freqüència d'actualització i temps de computació assignat [Casajús04]. Gràcies al sistema de LOD bàsicament s'obtenen dos beneficis: que qualsevol pic degut a una acumulació d'entrenaments en un mateix instant es reparteixi en el temps, i que es desactivi l'aprenentatge per aquells entrenaments de menor rellevància pel jugador quan hi ha risc de saturació.

Les xarxes neuronals són, doncs, una solució perfectament viable, tant pel que fa a l'aprenentatge com pels costos de memòria i computacionals.

## Premis

Com a mascotes del jugador que són, les criatures desenvolupades en aquest projecte interessa, no només que aprenguin pel seu compte, sinó també per indicació del seu amo. Si una criatura ha d'aprendre a partir dels premis que obté dels seus comportaments, aquests premis hauran de venir tant de la pròpia criatura en el cas de l'autoaprenentatge com del jugador en el cas de l'aprenentatge guiat.

L'aprenentatge no té lloc enseguida que s'obté un premi, sinó que aquests es van acumulant al llarg del comportament. Un cop finalitzat aquest, s'usa la seva acumulació com el premi final resultant de realitzar el comportament en la situació en la que s'ha iniciat, no l'actual. Per cada comportament es pot perseguir un objectiu ben diferent, de manera que s'han de donar premis en consonància amb cada comportament realitzat. A sobre, l'estat emocional influeix en la manera en què es valoren aquests premis. Per complicar-ho encara més, cada joc té interessos diferents. L'obtenció i càlcul d'un premi, doncs, no és trivial.

Per arribar a un compromís entre un aprenentatge guiat per les emocions i alhora pels objectius del comportament i del joc, el premi es descomposa en dues parts: *guany emocional* més *guany d'objectius*. El guany emocional és la diferència del valor emocional net entre l'inici i final del comportament, mentre que el guany d'objectius representa la valoració dels èxits i fracassos acumulats al llarg del comportament.

Cada part es pondera segons la importància que se li vulgui donar, podent variar entre comportaments. Així es poden obtenir comportaments més "emocionals" i d'altres més "racionals". En canvi, en l'aprenentatge guiat pel jugador se suprimeix el guany emocional i el guany d'objectius passa a ser directament el premi atorgat pel jugador.

Per obtenir els premis relatius als èxits i fracassos es registra un callback per cada parella estímulo-comportament per tots aquells estímuls pels que, durant l'execució del comportament associat, són representatius d'un premi d'objectiu. Aquests callbacks es criden llavors mentre dura el comportament cada cop que es percep un dels estímuls. El callback llavors té la responsabilitat de calcular i retornar el premi, el qual s'acumula al guany d'objectius. Addicionalment el callback també indica si el premi retornat prové o no de l'amo, de manera que el sistema s'aprofita per ambdós mètodes d'aprenentatge.



En aquest últim cas, el premi s'acumula directament al premi final a utilitzar i es marca que s'ha rebut un premi de l'amo per determinar el premi a utilitzar per l'aprenentatge en finalitzar el comportament. Finalment, el callback pot retornar un senyal de finalització del comportament. Aquest senyal està destinat a avisar d'una fi del comportament ordenada per l'amo (típicament associada a un càstig), tot i que se'n pot abusar per finalitzar-lo per algun cas especial no contemplat en el sistema de comportament (més endavant es veurà com el sistema de comportament normalment ja sap quan el comportament ha finalitzat pel seu propi compte).

Tot i que no s'imposa cap restricció en el rang que pot tenir un premi, convé que aquests tinguin unes unitats estandarditzades entre tots ells. Un premi es representa amb un número real, associant els valors positius a bons comportaments i els negatius a comportaments dolents.

---

## Política de comportament

Sembla lògic pensar que per escollir el comportament per cada situació la millor opció és quedar-se amb aquell que tingui un valor  $Q$  més elevat. Però això comporta un parany [Evans02]:

- Un cop obtingut un bon resultat per un comportament en una certa situació, ja no es provarà si hi ha alguna alternativa millor per aquella situació.
- Si es castiga excessivament un comportament per certes situacions, es pot arribar a inhibir-lo també per altres situacions per les que encara no s'ha provat, sense que no hi hagi cap possibilitat de redreçar-ho.
- El jugador ha d'esperar que la criatura realitzi per casualitat el comportament que ell/ella espera per premiar-la.

Convé doncs que tots els comportaments tinguin un mínim de probabilitats de ser escollits. A aquesta política de selecció se l'anomena *política estocàstica*, i precisament forma part del model de RL com una estratègia per combinar l'exploració de totes les opcions amb l'exploració d'aquestes.

Evidentment, convé escollir més sovint la millor opció o l'aprenentatge ja no tindria sentit. Concretament s'usa l'anomenada política  $\varepsilon$ -soft, on cada comportament  $c$  en una situació  $s$  té com a mínim una probabilitat  $\varepsilon$  dividit pel nombre de comportaments possibles en la situació ( $|C(s)|$ ) [Champanard04]. L'equació 3.6 és la probabilitat del comportament  $c$  de ser escollit en la situació  $s$ .

$$\pi(c,s) \geq \frac{\varepsilon}{|C(s)|} \quad (3.6)$$

Però aquesta política introdueix un nou problema: no hi ha manera d'acabar tenint una política determinista (és a dir, escollir sempre la millor opció) si aquest és el desig del jugador a la llarga. Observant el problema de l'aprenentatge, un s'adona de que és a l'inici, quan encara no es té cap experiència, quan convé més provar alternatives a la millor opció trobada fins al moment. Paulatinament amb el temps la millor opció trobada té més probabilitats de ser realment l'òptima. Per tant, interessa començar amb un valor alt de  $\varepsilon$  i anar-lo reduint amb el temps, fins a fer-lo nul i convertir la política estocàstica en determinista. Quan s'ha de fer nul (i si realment és desitjable arribar-lo a fer nul) ja és qüestió de cada joc i tipus de personatge.

En el cas de les criatures desenvolupades en aquest projecte s'escull una  $\varepsilon_0$  d'inici, una altra  $\varepsilon_1$  de final i el temps  $T$  de vida de la criatura necessari per passar de  $\varepsilon_0$  a  $\varepsilon_1$ . Llavors simplement es fa una interpolació lineal per obtenir els valors entremitjos, i s'usa  $\varepsilon_1$  per la resta de la vida de la criatura posterior a  $T$ . Es pot seguir una política similar per altres tipus de personatges, però aquesta és especialment útil per les criatures. Per exemple, es pot assignar un valor alt de  $\varepsilon_0$  indicant el seu estatus de nou nascut i fixar-lo molt més baix en arribar a la maduresa, on ja es té experiència i es tendeix menys a improvisar.

S'ha solucionat els dos primers punts del parany esmentat anteriorment, però no el tercer: el jugador encara ha d'esperar que la criatura realitzi el comportament desitjat per casualitat. Aquest darrer punt només afecta a les criatures, no als personatges que no aprenen per indicacions del jugador. Es podria pensar en implementar una política de *round-robin* dels comportaments per cada situació, però hi ha massa situacions per fer-

la econòmicament viable en cost de memòria. Encara pitjor, es córrer el risc de que el jugador noti un patró mecanitzat en les criatures, perdent tota la credibilitat.

Llavors, el més convenient és que cada joc proporcioni els seus propis mecanismes addicionals per a la selecció del comportament. Idealment aquests els iniciarà el jugador, doncs s'incentiva la interacció del jugador amb la seva mascota i n'estreta més el lligam emocional. Per exemple, el jugador pot ensenyar a la criatura a aprendre per imitació: a una ordre seva es crida l'atenció de la mascota i aquesta prova de realitzar el mateix comportament que l'amo (evidentment, aquesta exemple només és vàlid pels comportaments comuns entre ambdós).

---

## Sistema d'adaptació

L'aprenentatge i selecció de comportaments té lloc en l'anomenat sistema d'adaptació de la criatura. Aquest sistema es pot veure com una caixa negra que rep d'entrada senyals de reforçament i la situació actual (estat emocional + coneixement de l'entorn) i en treu el comportament que la criatura ha de seguir (veure la Figura 3.2).

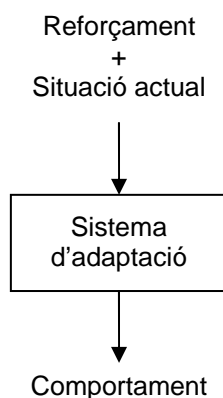


Figura 3.2 Sistema d'adaptació vist com una caixa negra.

El comportament a seguir és clarament necessari pel sistema de comportament, però també el sistema de percepció l'usa:

- **Sistema de comportament.** Transforma els comportaments contínua i dinàmicament en accions. Al seu torn, les accions són enviades al sistema motor per que aquest les apliqui al cos.
- **Sistema de percepció.** Necessita conèixer el comportament actiu per identificar quins són els estímuls que aporten un premi d'objectiu i fer la crida al callback corresponent per obtenir el premi associat.

Tant l'aprenentatge com la selecció de comportaments es basen en entrenar i explotar, respectivament, les xarxes neuronals corresponents als valors Q dels comportaments. Els dos processos es descomposen en un total de 9 fases, algunes seqüencials i d'altres de factible execució paral·lela:

### 1. Procés d'aprenentatge

- a. **Transformació d'estímuls a premis.** S'obté els premis d'objectiu per aquells estímuls que representin un premi pel comportament actiu. Realment té lloc en el sistema de percepció, però s'inclou aquí per la seva estreta relació amb el sistema d'adaptació.
- b. **Acumulació de premis.** Els premis subministrats pel sistema de percepció es van acumulant en un únic guany d'objectius fins a la fi del comportament actiu.
- c. **Obtenció del premi de comportament.** Quan el comportament actiu finalitza s'inicia aquesta fase, en la es determina el premi final del comportament i s'envia a la següent fase per l'entrenament.
- d. **Entrenament de la xarxa neuronal.** Finalment s'entrena la xarxa neuronal corresponent al comportament actiu amb el premi obtingut a la fase anterior i la situació en la que s'ha iniciat el comportament, emmagatzemada durant el procés de selecció.
- e. **Restauració de comportament.** Simplement es restaura el comportament actiu al comportament per defecte.

### 2. Procés de selecció

- a. **Obtenció dels comportaments.** S'inicia aquesta fase quan el comportament actiu és el comportament per defecte. S'obtenen tots els comportaments possibles en la situació actual i es donen a la següent fase per la selecció d'un d'ells.

- b. **Selecció de comportament.** S'escull com el nou comportament actiu un dels comportaments d'entre els rebuts de la fase anterior, aplicant la política  $\varepsilon$ -soft descrita anteriorment.
- c. **Emmagatzematge de la situació actual.** Es guarda tota la informació necessària posteriorment, durant el procés d'aprenentatge, per l'entrenament de la xarxa neuronal associada al comportament actiu.
- d. **Actualització d' $\varepsilon$ .** S'actualitza l'edat de la criatura  $i$ , amb ella, el valor d' $\varepsilon$  utilitzat per la política  $\varepsilon$ -soft en la selecció del comportament.

### Transformació d'estímuls a premis

En la generació de premis d'objectiu influeixen el comportament actiu i tots aquells estímuls que representin l'assoliment/pèrdua d'algun objectiu del comportament (veure la Figura 3.3). Per cadascuna de les parelles estímulo\_d'objectiu-comportament es té un callback associat, el qual és el responsable de retornar el premi correcte (valoració, procedència  $i$ , opcionalment, senyal de fi de comportament). El callback és lliure (i recomanable de fet) d'usar l'estat emocional de la criatura per esbiaixar la valoració del premi.

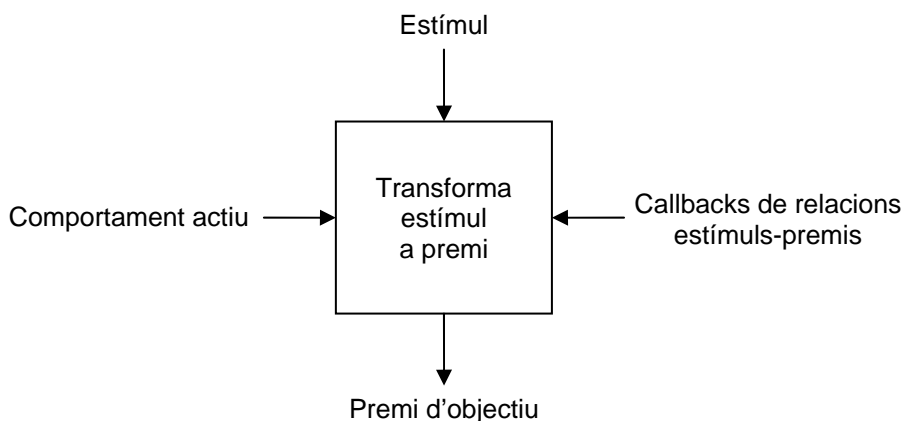


Figura 3.3 Elements que influeixen en la generació de premis d'objectiu.

La majoria d'estímuls no representaran un premi, de manera que no tindria sentit malgastar una gran quantitat de memòria en una taula bidimensional per emmagatzemar els callbacks. Per contra, la majoria d'objectius (per no dir tots) tindran algun estímulo associat a un premi. Per tant, és preferible emmagatzemar els callbacks en una taula unidimensional indexada pels comportaments, on cada casella conté un mapa de

parelles estímul-callback indexat per l'estímul. A més, seguint la ja típica estratègia d'estalvi de memòria d'elements comuns entre personatges, es permet compartir taules entre més d'un personatge.

## Acumulació de premis

Un premi d'objectiu procedent del sistema de percepció consta del valor del premi, de la seva procedència (entorn/amo) i d'un opcional senyal de fi de comportament. En l'acumulació dels successius premis que es vagin rebent des de l'inici del comportament actiu cal tenir en compte especialment la procedència (veure la Figura 3.4). Si el premi prové de l'entorn, aquest només es suma al guany d'objectius si no s'ha rebut prèviament cap premi de l'amo. Per contra els premis de l'amo sempre s'acumulen al guany d'objectius, excepte pel primer que passa a substituir directament el guany d'objectius pel seu valor. Per controlar si s'ha rebut un premi de l'amo s'activa un senyal que ho indica, el qual es guarda junt amb el guany d'objectius.

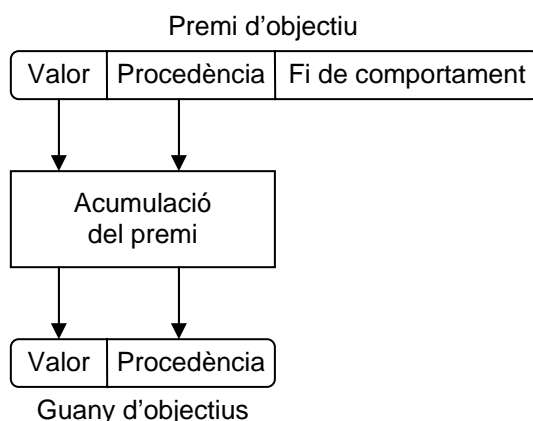


Figura 3.4 Acumulació d'un premi en el guany d'objectius.

## Obtenció del premi de comportament

Així que es rep el senyal de fi de comportament ja es pot esbrinar quin ha estat el seu premi i passar a entrenar la xarxa neuronal corresponent. Com s'ha explicat anteriorment, el premi de comportament consta d'una part emocional (guany emocional) i una altra de racional (guany d'objectius). Cadascuna està ponderada de forma específica per cada comportament, a excepció de que es rebi un premi de l'amo, cas en què només es té en compte els premis de l'amo (veure la Figura 3.5).

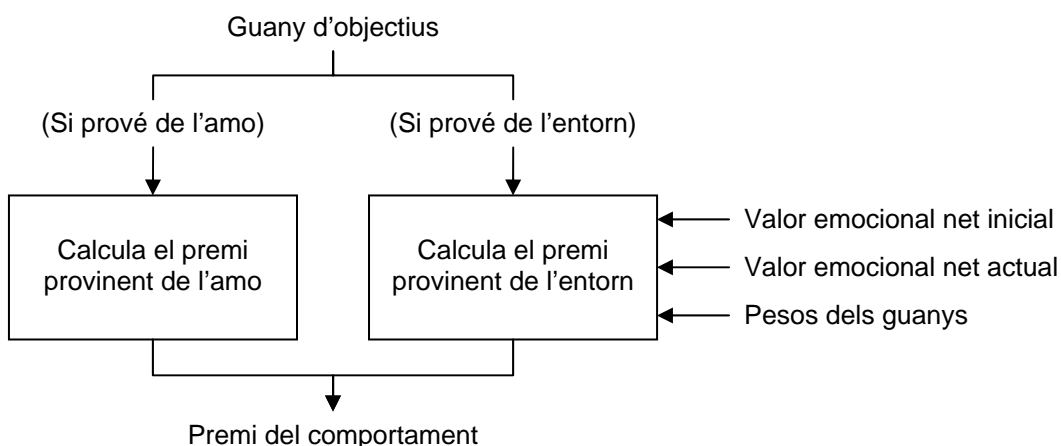


Figura 3.5 Procés d'obtenció del premi de comportament.

Els pesos de cada guany es guarden en una taula indexada pel comportament, amb l'opció de poder ser compartida entre personatges.

### Entrenament de la xarxa neuronal

Finalment ja es pot entrenar la xarxa neuronal corresponent al comportament actiu que ha finalitzat. Per entrenar-la es recupera l'estat de la situació (valor emocional net + entrada de la xarxa neuronal) en el moment de la selecció del comportament, emmagatzemat durant el mateix procés de selecció (veure la Figura 3.6).

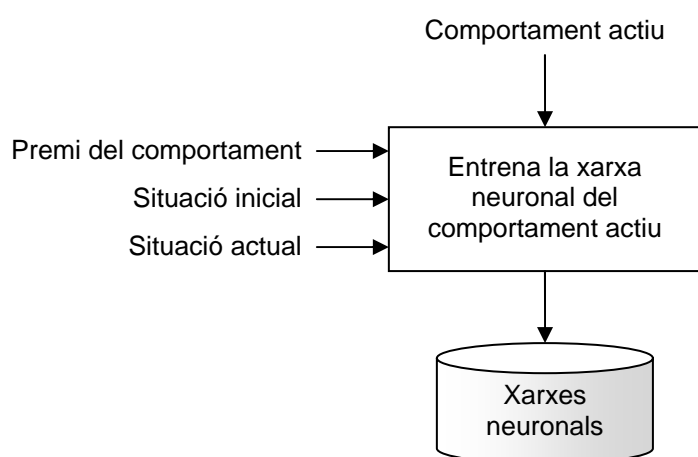


Figura 3.6 Informació necessària per l'entrenament d'una xarxa neuronal.

L'entrenament consisteix en aplicar l'algorisme *Q-learning* detallat anteriorment, on:

- La situació actual, des del punt de vista de *Q-learning*, es correspon a la situació de selecció del comportament.
- El comportament a entrenar és el comportament actiu (i en conseqüència s'entrena la xarxa neuronal associada).
- La següent situació, des del punt de vista de *Q-learning*, es correspon a la situació actual coneguda per la criatura.
- Les característiques de les xarxes neuronals s'hauran d'ajustar de forma experimental, així com els paràmetres dels algorismes de *Q-learning* i *backpropagation*.

## Restauració de comportament

Un cop finalitzat un comportament i efectuat l'entrenament de la xarxa neuronal associada, convé establir el comportament actiu a un comportament neutre o per defecte. Aquest comportament per defecte no té una xarxa neuronal associada i no es pot entrenar (no s'ha de generar cap senyal de fi de comportament per ell ni recollir premis mentre sigui actiu). El seu objectiu simplement és ser aquell comportament usat quan no hi ha cap altre comportament possible en la situació actual (per exemple, en el cas d'una criatura, el comportament per defecte podria ser seguir l'amo). També s'usarà per iniciar el procés de selecció de comportament.

Es podria pensar que no cal tenir cap comportament per defecte si tot just després de l'entrenament s'inicia el procés de selecció, però disposant d'un comportament per defecte es permet realitzar ambdós processos a freqüències diferents, la qual cosa és especialment útil equilibrar la càrrega en un MMOG. A més, realment pot interessar disposar d'un comportament que no es pugui alterar. Si es desitja que absolutament tots els comportaments es puguin entrenar només caldrà forçar que el procés de selecció sempre segueixi de forma immediata a l'entrenament.

## Obtenció dels comportaments

El primer pas del procés de selecció del comportament és precisament determinar quins són els comportaments aplicables a la situació actual. Per desgràcia cada joc és diferent



i intentar implantar algun sistema de precondicions podria no donar la flexibilitat suficient. A més cada comportament pot ser aplicable més d'una forma en la mateixa situació (per exemple, si la criatura disposa del comportament menjar i coneix la ubicació de dues fruites, s'ha de realitzar la valoració de dos comportaments, cadascun per menjar una de les dues fruites). Com que es vol afavorir al màxim la portabilitat de la criatura, per cada joc s'implementarà un callback que és cridat cada cop que es vol saber quins són els comportaments possibles per una certa situació. Aquest callback haurà de retornar tots aquells comportament viables per la criatura en la situació que se li indica.

## Selecció de comportament

La selecció de comportament segueix la política  $\epsilon$ -soft, de manera que primer de tot es decideix si s'ha d'escollir el millor comportament o un a l'atzar (segons si tirada a l'atzar menor o major que  $\epsilon$ ). Si surt una selecció a l'atzar, doncs simplement s'escull a l'atzar un dels comportaments obtinguts a la fase anterior, amb igualtat de probabilitats per tots ells. En canvi, si surt que s'ha de seleccionar el millor comportament, llavors es calculen els valors Q de tots els comportaments i es queda amb el comportament que tingui un major valor Q associat (veure la Figura 3.7).

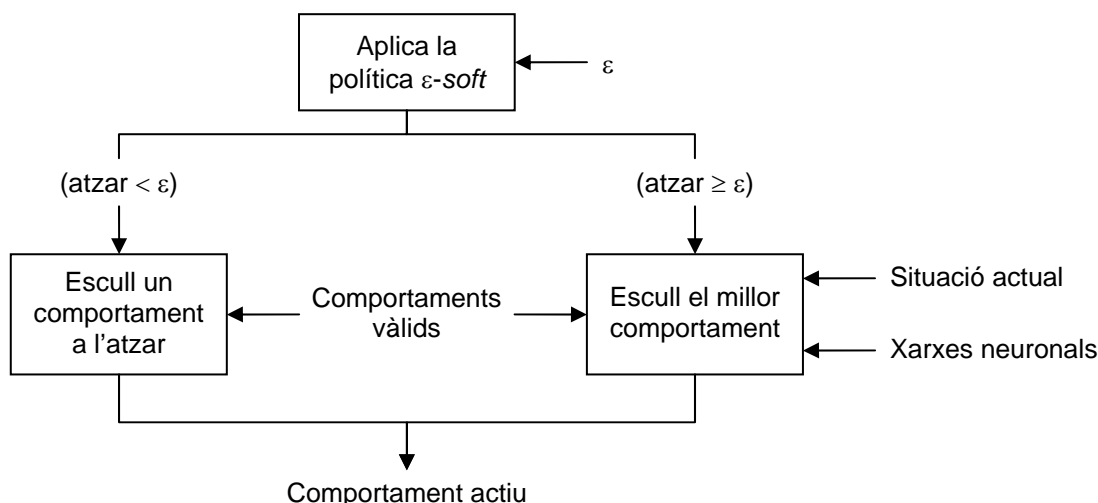


Figura 3.7 Procés de selecció del comportament.

Cal dir que les entrades d'una xarxa neuronal són un conjunt reduït dels atributs de la situació actual, concretament aquells que més rellevància tenen pel comportament

associat. Un valor  $Q$ , doncs, s'obté posant a l'entrada de la xarxa neuronal els atributs de la situació actual establerts en la fase de disseny. Per continuar donant prou flexibilitat, també les entrades s'obtenen a partir d'un callback. Per tant, hi haurà un callback associat a cada comportament que n'haurà de retornar les entrades a donar a la xarxa neuronal associada. Les entrades lògicament depenen de cada comportament i joc, però sol ser altament recomanable incloure l'estat de les emocions.

### **Emmagatzematge de la situació actual**

Un cop escollit el comportament convé guardar-se la situació en la que aquest ha estat escollit per tal de que posteriorment, durant l'entrenament, es pugui recuperar l'estat d'aquesta situació. Concretament cal guardar l'entrada donada a la xarxa neuronal associada al comportament, més el valor net actual de l'estat emocional, que serà usat per determinar el guany emocional. Finalment, també s'inicialitza el guany d'objectius (valor 0 + senyal de premi d'amo desactivat).

### **Actualització d' $\varepsilon$ .**

Per acabar, no s'ha d'oblidar d'actualitzar de tant en tant el valor d' $\varepsilon$ . Simplement, primer s'usa l'increment de temps des de l'última actualització per augmentar l'edat de la criatura  $i$ , després, s'obté el nou valor d' $\varepsilon$  per interpolació lineal entre  $\varepsilon_0$  i  $\varepsilon_1$ , suposant  $\varepsilon_0$  per edat  $e = 0$  i  $\varepsilon_1$  per edat  $e = T$  (veure l'equació 3.8). En cas de que l'edat superi  $T$ , s'assigna directament  $\varepsilon_1$  a  $\varepsilon$  (veure l'equació 3.7).

$$\text{Per } e \geq T \rightarrow \varepsilon = \varepsilon_1 \quad (3.7)$$

$$\text{Per } e < T \rightarrow \varepsilon = (1 - e/T) \cdot \varepsilon_0 + (e/T) \cdot \varepsilon_1 \quad (3.8)$$

# Capítol 4. Arquitectura

---

## Introducció

L'objectiu d'aquest projecte és centrar-se en els sistemes emocional i d'adaptació d'una criatura, però com a mínim també convé veure la seva relació amb la resta de sistemes per tenir una idea global de tot el conjunt. Evidentment, l'arquitectura proposada aquí no és necessàriament l'única ni es garanteix que sigui la millor, però sí que és una arquitectura suficient per tenir les criatures fixades com objectiu.

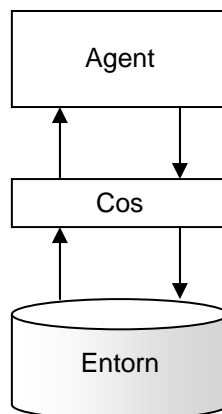


Figura 4.1 Model d'un agent *embodied*.

A més alt nivell, l'idea de l'arquitectura segueix el concepte d'*agent embodied* [Carles02]. Aquest model és molt apropiat degut a que facilita la portabilitat de la criatura i ajuda a evitar el defecte de personatge trampós<sup>1</sup>. Un agent *embodied* es caracteritza per formar-se un model de l'entorn, el qual no necessàriament ha de coincidir amb el real. L'estat de l'entorn el coneix a través dels sentits i processos mentals, mentre que el manipula donant-li ordres al seu cos. Així, es pot considerar

---

<sup>1</sup> Un personatge trampós és aquell que el jugador creu que se li faciliten recursos que no se li suposen [Carles02]. Un exemple, seria un personatge que coneix sempre la posició del jugador, indistintament d'on es trobi.

l'agent com la ment de la criatura, la qual està encapsulada dins el cos i usa aquest tant per conèixer l'estat de l'entorn com per manipular-lo (veure la Figura 4.1).

---

## Sistemes de la criatura

Ja s'han descrit els sistemes emocionals i d'adaptació, i fins i tot s'ha indicat la seva relació amb d'altres sistemes de la criatura. És hora, doncs, de veure tot el conjunt. Concretament, seguint un ordre aproximat en el flux de les dades des de la recollida d'estímuls fins a l'aplicació de les accions, es té:

- **Sentits.** Són els encarregats de recollir estímuls de l'entorn.
- **Sistema de percepció.** Tracta els estímuls que els sentits recullen, actualitzant el coneixement que es té de l'entorn i transformant-los en sensacions i senyals de reforçament.
- **Sistema emocional.** Actualitza les emocions i sentiments a partir de les sensacions, estableix l'emoció dominant i genera senyals de xocs emocionals.
- **Sistema d'adaptació.** Selecciona el comportament a seguir en cada situació i aprèn quins són els millors comportaments per cada situació.
- **Sistema de comportament.** Genera les accions adequades pel comportament actiu, dinàmicament segons els canvis en l'entorn.
- **Sistema motor.** Aplica les accions sobre el cos, resolent conflictes i tenint en compte l'emoció dominant i els xocs emocionals.
- **Cos.** És la representació física i visual de la criatura.

Les relacions entre els diferents sistemes, doncs, queden clares (veure la Figura 4.2). Els sentits donen els estímuls al sistema de percepció, el qual dona sensacions al sistema emocional i senyals de reforçament d'objectius al sistema d'adaptació; el sistema emocional dona les emocions i sentiments al sistema de percepció, emocions al sistema d'adaptació i l'emoció dominant i xocs emocionals al sistema motor; el sistema d'adaptació dona el comportament actiu als sistemes de percepció i de comportament; el sistema de comportament dona accions al sistema motor; i el sistema motor transforma el cos (i, per tant, també els sentits indirectament).

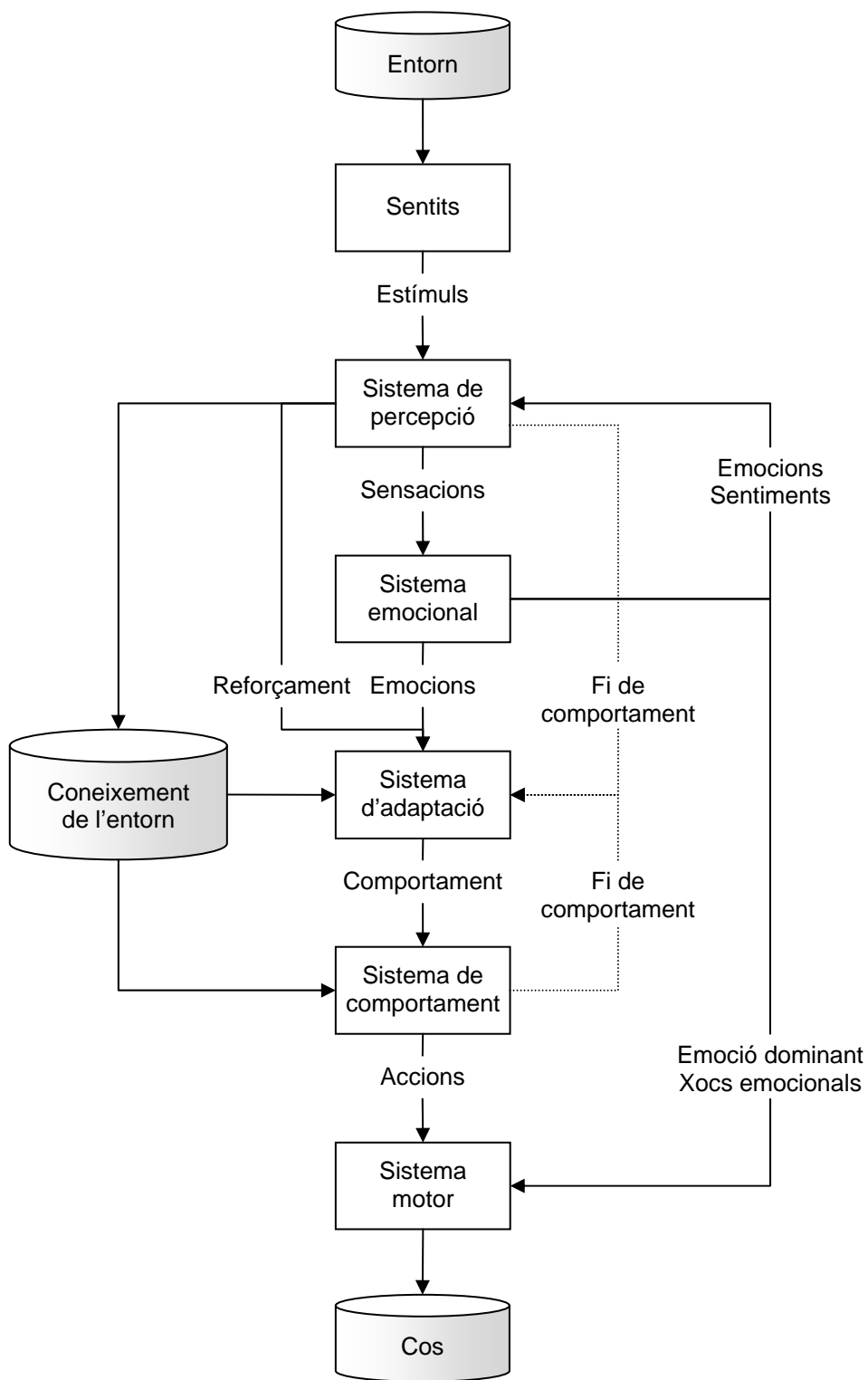


Figura 4.2 Relacions entre tots els sistemes que formen la criatura.

---

## Integració en un MMOG

Ja s'ha comentat anteriorment que un MMOG implementa un sistema de LOD per prioritzar l'actualització dels personatges més importants, importància que varia dinàmicament i ve determinada en funció de la seva relació en tot moment amb els personatges jugador. Aquests sistemes poden variar força d'una implementació a una altra, però tots es caracteritzen per donar una major freqüència d'actualització i ús d'algorismes més precisos (i, per tant, de major cost computacional) als personatges més importants. Per posar un exemple, el joc *Neverwinter Nights* (tot i no ser prou "massiu" per considerar-se un MMOG pròpiament dit) implementa un sistema de fins a 5 nivells de detall [Brockington02]. De major a menor prioritat, aquests són: jugador, personatges interactuant amb el jugador, personatges prop del jugador, personatges en la mateixa àrea que el jugador, personatges en una àrea sense cap jugador. A cada nivell se li assigna un % de CPU i es poden usar algorismes de diferent complexitat, especialment en el cas de la cerca de camins.

Naturalment, pot haver-hi altres variacions o anar combinat amb altres sistemes d'equilibri de la càrrega de CPU. Així, a [Alexander02] es proposa una arquitectura que classifica tipus de tasques i les agrupa, donant-li a cada grup un mètode d'actualització diferents (temps màxim per cicle, nombre de tasques a executar per cicle i interval de temps entre l'execució d'una mateixa tasca). Un altra estratègia interessant és la seguida pel joc *Conflict: Desert Storm* [Grinke04]. En comptes de poblar el món amb milers de personatges, es van afegint personatges prop del jugador segons les necessitats i fent desaparèixer els que se n'allunyen. La filosofia amb què es basa aquest sistema és semblant a la seguida pels sistemes de LOD, però portada a l'extrem: allà on no hi ha cap jugador tampoc no hi ha ningú per adonar-se de que hi falten personatges. Convenientment, però, aquesta política només s'aplica als personatges secundaris; els principals capten l'atenció especial del jugador i és important que el jugador tingui la sensació de que continuen evolucionant mentre ell/ella no hi és.

L'arquitectura proposada en aquest projecte es pot estendre fàcilment a la filosofia de sistema de LOD implantada pel *Neverwinter Nights*. Convindria, però, proporcionar versions d'alguns dels sistemes i comportaments que tinguessin un menor grau de cost computacional. Per exemple, l'aprenentatge no és imprescindible a nivells de detall

baixos, on els comportaments realitzats solen funcionar per aproximacions. L'arquitectura inclús permet un grau més de llibertat en l'equilibri de la càrrega de computació entre personatges. Concretament, no només es pot assignar una freqüència d'actualització a la totalitat de la criatura, com succeeix en el cas del *Neverwinter Nights*, sinó que permet arribar a assignar una freqüència d'actualització diferent per cadascun dels seus sistemes. Efectivament, si s'estudia atentament cadascun d'ells, un s'adona de que implantat buffers a les entrades d'alguns d'ells no és imprescindible una execució seqüencial. Aquesta característica és especialment útil als nivells de detall més alts, que són els que consumeixen major temps de computació. De fet, la seva importància ja es destaca a [McLean02], i a [Casajús04] es proposa un sistema de LOD que l'explota.

És difícil assegurar que l'arquitectura de les criatures pot ser integrada en qualsevol MMOG, però si que es té la confiança de que és viable per la majoria d'ells (i, no cal dir, en jocs menys restrictius).

# Capítol 5. Experiment realitzat

---

## Introducció

Un cop presentada l'arquitectura en la que es basa la criatura, convé posar-la en pràctica per esbrinar-ne el potencial. Recordant els objectius fixats a la introducció, concretament interessa saber si la criatura desenvolupada és capaç de demostrar emocions convincents i aprendre tant dels seus errors com del guiatge del seu amo. En definitiva, es vol comprovar si la criatura transmet al jugador una il·lusió d'intel·ligència biològicament plausible, amb les conseqüents connotacions de credibilitat, immersió del jugador i lligam emocional amb la criatura.

Adicionalment, com que la criatura s'ha desenvolupat tenint en ment les altes restriccions imposades per un MMOG, també interessa conèixer el límit màxim de criatures que poden conviure simultàniament. Aquest límit, però, només serà orientatiu, doncs cada joc tindrà les seves pròpies necessitats de recursos addicionals que no es poden preveure en aquest experiment, així com un sistema de LOD particular. També el servidor de destí pot variar d'un joc a un altre. De fet, és habitual trobar MMOG que usen múltiples servidors segons les seves necessitats.

---

## Definició

Per poder portar a terme l'experiment s'ha construït un "minijoc". El joc consta bàsicament de:

- Un personatge jugador.
- Un nombre variable de mascotes que acompanyen el jugador.
- Un nombre variable de personatges secundaris de tipus diferents.
- Una àrea gran plena de tipus diferents de menjar contínuament regenerant-se.



El menjar té les següents funcions:

- Millorar els atributs dels personatges temporalment.
- Ser llançat contra els demés.

Les regles del joc són simples:

- Cada personatge pertany a un equip. Hi ha un equip per cada tipus de personatge secundari, més un altre equip format pel jugador i les seves mascotes.
- Cada llançament contra un membre d'un altre equip suma punts a l'equip llançador, mentre que en resta si és del mateix.
- Guanya aquell equip que arriba primer a la puntuació prefixada d'inici.

Tots els personatges poden realitzar els mateixos comportaments, exceptuant el comportament per defecte que varia entre personatges secundaris, mascotes i jugador (naturalment els comportaments del personatge jugador els inicia el propi jugador; l'únic que es vol indicar aquí és que el jugador pot realitzar les mateixes accions que els personatges no jugador):

- Recollir i menjar quelcom.
- Recollir i llançar quelcom contra algú.
- Fugir d'algú.
- Vagar per l'entorn (comportament per defecte dels personatges secundaris)
- Seguir l'amo (comportament per defecte de les mascotes)
- Anar a un punt (comportament per defecte del jugador)

Cada personatge té atributs que influeixen en el seu moviment i capacitat de llançament, els quals poden ser augmentats temporalment menjant quelcom. Després de la consumició, però, els atributs incrementats s'aniran decrementant lentament fins a assolir els seus valor base. Els següent atributs es poden incrementar en un personatge:

- Velocitat de moviment
- Distància de llançament

Quan un menjar és consumit, cada atribut del personatge s'incrementa per la quantitat de menjar multiplicat pel factor d'increment per unitat de menjar corresponent. Per tant, cada element individual de menjar conté una certa quantitat de menjar d'un mateix tipus, mentre que per cada tipus de menjar es té els següents atributs:

- Increment de la velocitat de moviment per unitat de menjar
- Increment de la distància de llançament per unitat de menjar
- Punts en impactar per unitat de menjar

En la Taula 5.1 es poden veure els diferents tipus de menjar que hi ha i els seus atributs:

Taula 5.1 Diferents tipus de menjar i el valor dels seus atributs.

| Menjar   | Velocitat de moviment | Distància de llançament | Punts d'impacte |
|----------|-----------------------|-------------------------|-----------------|
| Pastís   | +1                    | +1                      | +5              |
| Tomàquet | +0                    | +3                      | +3              |
| Pizza    | +3                    | +0                      | +1              |

Els personatges secundaris del mateix tipus comparteixen les taules d'estímuls, sentiments i xarxes neuronals. És interessant fixar-se en què no se'ls hi proporciona explícitament les regles del joc. Aquestes ja estan implícites en les taules d'estímuls i el fet de que estiguin compartides entre els mateixos membres de l'equip. Són excepció les mascotes que acompanyen el jugador, per les quals se'ls hi vol dotar una personalitat pròpia a cadascuna i es deixa la feina d'ensinistrar-les al jugador, que d'altra banda és preferible degut a que involucra més el jugador amb cadascuna de les mascotes individualment, podent establir-se "mascotes preferides" i, en conseqüència, diversitat d'emocions vers unes i altres. En la Taula 5.2 es mostra alguns dels estímuls i la contribució que aporten a cadascuna de les emocions. També s'hi aprecia que un personatge pot experimentar fins a 4 emocions: alegria, tristesa, ira i por. Cada tipus de personatge disposa d'una taula similar, però despertant emocions diferents pels mateixos estímuls. Per les mascotes, a més, se'n generen variacions aleatòries.

Taula 5.2 Fragment d'una de la taules de contribució dels estímuls a les emocions.

| Estímul        | Alegria                         | Tristesa                         | Ira                          | Por                           |
|----------------|---------------------------------|----------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| Veure X        | $0.1 \cdot \text{estima}(X)$    |                                  |                              | $-0.2 \cdot \text{estima}(X)$ |
| X ataca Y      | $-0.6 \cdot \text{estima}(Y)$   |                                  | $0.6 \cdot \text{estima}(Y)$ |                               |
| X obté Y punts | $0.4 \cdot \text{valora}(X, Y)$ | $-0.3 \cdot \text{valora}(X, Y)$ |                              |                               |

On,  $\text{valora}(X, Y) = \text{estima}(X) \cdot Y / \text{PUNTUACIÓ\_MÀXIMA}$

Pel que fa als premis d'objectius, s'atorguen els següents segons el comportament actiu:

- **Comportament de menjar.** Suma dels increments en els atributs, esbiaixat en favor d'un dels dos possibles increments segons cada tipus de personatge i emoció. Per exemple, un personatge enfadat pot valorar més un increment en la distància de llançament, mentre que un que té por ho pot fer en la velocitat de moviment.
- **Comportament de llançar menjar contra algú.** Suma dels punts obtinguts, proporcional a alguna de les emocions segons el tipus de personatge.
- **Comportament de fugir d'algú.** Valor positiu si l'objectiu era d'un altre equip i no s'ha rebut cap impacte, negatiu en cas contrari. També proporcional a alguna de les emocions.

Com ja s'ha comentat en el capítol sobre l'aprenentatge, és bo que el jugador tingui altres mètodes d'ensenyar a les criatures que el de premiar i castigar. En aquest sentit, les mascotes del joc també aprenen per imitació del seu amo: allò que li veuen fer ho atribueixen a un bon comportament per aquella situació.

Inconvenientment, però, no és possible disposar del contingut emocional necessari per tal de que la prova sigui el màxim d'efectiva. S'intenta pal·liar aquest problema representant les diferents entitats i els seus atributs a partir de figures geomètriques i caixes de text mostrades directament sobre seu, les quals contenen informació tant rellevant com pot ser l'animació que estaria realitzant un personatge si es tingués el contingut corresponent.

Fins aquí el joc permet provar les emocions i capacitat d'aprenentatge. Per verificar si l'arquitectura també és suficient per un joc altament exigent en recursos, com és el cas d'un MMOG, es realitza una prova desactivant els gràfics (en l'arquitectura client/servidor la sortida gràfica la realitza el client). Llavors es van afegint personatges secundaris fins que s'arriba a un mínim de rendiment que es creu suficient pel bon funcionament del joc. Arribats a aquest punt s'obté el màxim nombre de personatges permesos per l'arquitectura degut al cost computacional. Òbviament, el resultat obtingut només pot ser orientatiu, doncs no es pot tenir en compte el cost addicional que afegirà cada joc, ni el guany que permetrà el sistema de LOD específic del mateix joc. Pel que fa al cost en memòria, aquest no és tant rellevant, doncs simplement es pot ajustar a les necessitats del joc compartint més o menys recursos entre personatges. De fet, el més habitual serà que la limitació vingui imposada a nivell de disseny, doncs seria inviable definir una personalitat única per personatge (i segurament no desitjable tampoc per motius de jugabilitat).

---

## Resultats

Els resultats obtinguts són força “intel·ligents” pel que fa al comportament demostrat, especialment a llarg termini. Per tant, l'aprenentatge es pot considerar satisfactori. No obstant, es fa evident que l'aprenentatge és excessivament lent. Potser és justificable per les mascotes de l'amo si se'ls hi atribueix a aquestes un caràcter de nou nascut, però si en canvi els personatges secundaris se'ls considera “adults”, aquests seria desitjable que tinguessin un mínim d'entrenament previ al joc. De fet, tot i que pugui ser justificable per les mascotes, no tots els jugadors ho han de veure així, especialment aquells amb poca paciència. Es podria intentar accelerar augmentant el paràmetre de velocitat d'aprenentatge o el nombre d'iteracions de l'algorisme *backpropagation*, amb la finalitat de donar major importància als comportaments més recents i convergir-hi més ràpidament. Però llavors segurament es cauria en un sobreaprenentatge que portaria a les mascotes a semblar estúpides davant situacions semblants en les que actuarien diferent. Trobar un equilibri no és senzill i requereix molt de temps d'ajustament. Malauradament, a diferència de la majoria de problemes d'aprenentatge, no és trivial

definir un entorn controlat suficientment complex per quantificar d'una forma automàtica l'aprenentatge, sinó que cal una supervisió humana.

Tampoc es coneix cap joc amb capacitats d'aprenentatge i, especialment, emocionals similars, de forma que una comparativa amb altres jocs tindria poc sentit, excepte el fet evident de que són dos elements que aporten molta riquesa al joc i que s'espera (i desitja) que jocs futurs els incorporin. Potser és excepció el joc *Black&White* que, tot i que la part emocional estigui menys desenvolupada, demostra una bona capacitat d'aprenentatge, i amb una velocitat d'aprenentatge major que la obtinguda per les mascotes del joc creat per aquest projecte. Les criatures del *Black&White* usen una combinació de perceptrons per expressar desitjos i arbres inductius per valorar els comportaments realitzats sobre cada tipus d'objecte [Evans02]. Clarament l'ús de l'arbre inductiu fa inviable la portació de les criatures a un MMOG degut a l'excessiva memòria requerida, però demostra ser una bona opció per un joc amb poques criatures.

En canvi, els personatges del joc creat en aquest projecte han demostrat tenir una major visió a llarg termini que les criatures del *Black&White*, tot i el limitat repertori de comportaments a la seva disposició. Això és degut a que, tot i que el *Black&White* usa també aprenentatge per reforçament, es limita als premis immediats. De fet per algunes criatures, o jocs amb majors restriccions computacionals, pot ser una bona alternativa prescindir de l'algorisme *Q-learning* i utilitzar només els premis directes tal i com fa el *Black&White*. Sense aquest algorisme segurament no seran necessàries tantes iteracions de l'algorisme *backpropagation* per fer convergir la xarxa neuronal al resultat desitjat amb la mateixa rapidesa. Així s'aconsegueix reduir el cost en CPU, però a canvi de perdre la visió global de l'efecte dels comportaments a llarg termini. La veritat és que el *Black&White* ja ha demostrat que pot ser suficient, especialment per aquelles criatures per les que se'ls hi suposa un grau d'intel·ligència molt baix, simplement actuant i aprenent per reflex condicionat.

Val a dir que, tot i que queda clara la visió global que adquireixen els personatges gràcies a l'aprenentatge per reforçament i l'algorisme de *Q-learning*, costa adonar-se'n. El motiu segurament es deu a que el joc es tan simple que normalment el comportament amb major premi immediat també sol ser el millor a llarg termini. Per jocs més complexos s'espera que es ressalti més aquesta capacitat, que de pas atorga als

personatges una gran il·lusion d'intel·ligència. No obstant, depenent del joc potser que no s'exploti tot el potencial de l'aprenentatge per reforçament si s'entrena a nivell de comportament. Això és especialment cert per aquells comportaments que poden utilitzar un ampli ventall d'accions. Un cas típic en els jocs d'avui dia és el combat. Per aquests casos seria interessant estudiar un mètode alternatiu com pot ser *Montecarlo* (un algorisme d'aprenentatge per reforçament que recull estadístiques i les usa al final d'un episodi per aprendre segons el resultat final de l'episodi) el qual s'aplicaria com un segon nivell d'aprenentatge, destinat a aprendre quines són les millors accions a realitzar per un determinat comportament. Per tant, el seu domini es reduiria a les accions que es poden realitzar en un comportament i les situacions en les que aquest és aplicable. Això el faria factible per aprendre a nivell d'acció per comportaments concrets, sense representar un cost de memòria i computacional excessivament elevat.

Un aspecte secundari molt interessant del fet de compartir sentiments entre els personatges secundaris del mateix tipus és que es creen aliances entre grups. Això és degut a que cada cop que es veu un personatge d'un altre tipus llançant menjar sobre un tipus de personatge que s'odia, s'incrementa l'estima pel primer. En canvi, si l'objectiu era estimat, llavors es decrementa l'estima. Com que l'estima és una de les entrades de la xarxa neuronal que regeix el comportament de llançament i com que el premi rebut d'un llançament depèn de l'estima vers l'objectiu, cada cop s'accentuen més les diferències sentimentals i s'acaben per establir aliances implícites.

Pel que fa al lligam emocional que s'hauria d'esperar degut a les emocions demostrades per la criatura, el resultat obtingut és molt millor del previst, si es té en compte que la criatura visualment és una simple bola i el seus estat emocional es mostra mitjançant text. L'explicació d'aquest fet poden ser tres:

- **Comportament.** Recordant els mecanismes de què disposa una criatura per comunicar les seves emocions veiem com no tot es basa en contingut gràfic o sonor, sinó també en el comportament realitzat per la criatura en tot moment (evidentment el comportament també es comunica per mitjà visual, però aquest no cal que sigui especialment sofisticat perquè un jugador s'adoni del que passa, tal i com succeeix en l'experiment realitzat). Així es demostra que el comportament no és només una demostració d'intel·ligència, sinó també un

mecanisme per expressar emocions. Naturalment, perquè aquestes arribin amb prou intensitat al jugador (i aquest en pugui experimentar de pròpies, que és l'objectiu final al capdavant) convé equipar la criatura amb contingut emocional addicional i de bona qualitat.

- **Imaginació.** No pretén ser una broma, sinó un fet. Realment la imaginació humana ajuda molt a omplir els forats que de tots aquells detalls que no se li donen. Un exemple claríssim en són les novel·les. Segurament és aquesta imaginació que fa que el comportament pugui ser una eina efectiva per transmetre un estat emocional.
- **Subjectivitat.** És extremadament difícil valorar objectivament l'eficàcia de les criatures en relació a causar emocions sobre el jugador. A més, la predisposició a experimentar emocions i quins mecanismes les desperten poden variar molt d'una persona a una altra. Certament, la discussió sobre el grau d'intensitat de les emocions transmeses només es pot fer des d'un punt de vista subjectiu. No hi ha, doncs, una quantitat numèrica que es pugui utilitzar per valorar-ne el grau d'eficàcia.

Per la seva banda, la taula d'estímuls ha demostrat ser un mecanisme prou potent i flexible per definir l'aportació emocional de tots els estímuls. A més, la senzillesa del model "pes multiplicat pel valor d'una funció" facilita enormement l'ajustament de les personalitats. Certament, s'ha demostrat l'encert en l'ús dels callbacks com a funció genèrica. Malgrat l'overhead que puguin representar, la senzillesa en el disseny que aporten compensa sobradament la pèrdua de rendiment. Fins i tot no estaria de més que aquells callbacks més infreqüents amb fórmules més complexes s'implementessin via scripts, en comptes d'anar codificats directament. Això permetria encara un altre grau més d'ajustament a disposició del dissenyador. Cal però, no caure en la temptació de voler prescindir directament dels pesos ja que es disposa de callbacks que els poden incorporar. Realment a nivell d'execució podria pràcticament ser el mateix, però la importància dels pesos queda manifesta a nivell de disseny de la criatura, on molts dels callbacks són compartits i es guanya enormement en claredat.

Finalment, dir que la prova per determinar el nombre màxim de criatures simultànies s'ha realitzat en un PC portàtil amb processador Pentium 4-M 2GHz i 512Mb de RAM. Concretament s'ha obtingut com a màxim acceptable 8414 criatures simultànies.

Òbviament, el nivell mínim de rendiment exigít per cada joc pot variar molt, i no cal dir el cost computacional addicional de cadascun i el seu propi sistema de LOD que implementi. També afecta molt el nombre d'estímuls rebuts constantment i la durada i freqüència dels comportaments que no són el comportament per defecte. Així doncs, no s'ha d'oblidar mai que només és un número orientatiu. En tot cas, subjectivament sembla ser un nombre prou elevat per poder ser implantat en, com a mínim, la majoria de MMOG, doncs rarament en trobarem un en què una sola màquina gestioni totes aquestes criatures al seu millor grau de precisió (és a dir, que estiguin simultàniament al nivell de detall de major prioritat).



# Capítol 6. Conclusions

---

## Avaluació final

L'objectiu era desenvolupar una criatura capaç de demostrar emocions i que aprenguéss tant per si mateixa com per guiatge del jugador. No s'ha obtingut tota la qualitat que s'hauria desitjat (potser degut a una expectativa inicial desmesurada), però en general el nivell assolit tant en l'aspecte emocional com en l'aprenentatge són satisfactoris. De fet, ho són prou com per a poder reivindicar amb confiança l'objectiu indirecte que se'n deriva, comentat al llarg del projecte i especialment a la introducció i que ha estat la base de moltes justificacions: els jocs del futur immediat tenen molt a guanyar amb la incorporació d'emocions i aprenentatge.

El fet de que l'aprenentatge presentat en aquest projecte tingui en compte el resultat dels comportaments a més llarg termini, i no només el seu efecte immediat, afegeix un grau més d'intel·ligència. Això implica major realisme. I el realisme és sempre perseguit per un ampli segment de tipus de jocs. Per tant, és d'esperar que el mètode d'aprenentatge presentat, sinó algun altre amb resultats similars, serà incorporat en els jocs del futur immediat, i majoritàriament a la llarga (evidentment, sempre hi haurà jocs que no ho requeriran). De fet, degut als bons resultats que s'han obtingut en l'experiment realitzat per aquest projecte amb l'aprenentatge per reforçament, no seria d'estranyar que s'usés aquesta tècnica d'aprenentatge cada cop amb major freqüència. Ja el joc *Black&White* ha demostrat que pot aportar molt en aquest camp, i això que només es basava en els premis immediats, no a llarg termini [Evans02]. Realment, l'aprenentatge per reforçament sembla adaptar-se molt bé a les característiques d'un joc.

Però tot i que l'aprenentatge per reforçament s'adeqüi bé als jocs, també ha quedat igualment clara la necessitat de no limitar-se a un aprenentatge per prova i error. Ja ho avançava [Evans02], i en aquest projecte s'ha pogut corroborar. Sí és cert que si es deixa un personatge que aprengui pel seu compte per mitjà només del mecanisme de prova i

error acabarà aprenent molt bé; però no s'ha d'oblidar que un joc no és una pel·lícula, sinó que hi ha un jugador darrera, el qual espera poder participar interactivament en la "pel·lícula".

I és precisament aquesta interactivitat, la gran virtut de què disposa un joc i que ha d'explotar si vol prevaldre en front d'altres medis d'entreteniment no interactius com poden ser el cinema o les novel·les [Rollings03]. Per desgràcia, la interactivitat és una arma de doble tall: quan més es vol explotar, major són les opcions que té el jugador i, per tant, més complex ha de ser el joc. En aquest sentit, ha quedat demostrat en aquest projecte que la combinació d'emocions i aprenentatge, capaços de respondre convincentment a qualsevol acció del jugador, permeten una gran explotació del concepte d'interactivitat mantenint, sinó augmentant, el nivell de realisme que es perdria d'altra forma.

Pel que fa a avaluar el sistema emocional, aquest ha demostrat ser ajustable d'una forma força intuïtiva, alhora que permet molta flexibilitat. Això és molt important, doncs extreure'n el màxim potencial sempre dependrà del dissenyador del joc. Ja s'ha comentat que hi ha altres alternatives de formular la contribució dels estímuls a les emocions. Concretament [Champanard04] els estímuls també es transformen a sensacions, però aquestes no necessàriament són la contribució directa de l'estímul a cada emoció, sinó que es realitza un segon mapeig de les sensacions a les emocions. A més la transformació dels estímuls a les sensacions no es fa per mitjà d'una taula, sinó d'un FSA. El sistema és segurament encara més simple a nivell de disseny de les personalitats de cada criatura, però la seva flexibilitat és menor. Tot i així, l'ús de diversos FSA permet a [Champanard04] generar sensacions a partir de seqüències d'estímuls, la qual cosa és molt interessant i seria bo estudiar incorporar algun mecanisme compatible amb el sistema emocional desenvolupat en aquest projecte que li permetés aquesta característica de generar sensacions tenint en compte la seqüència històrica dels estímuls.

També s'ha destacat la importància de disposar de contingut emocional de qualitat, doncs, junt amb el comportament realitzat, són l'únic mitjà per expressar les emocions. Tot i així, ja s'ha vist que amb un mínim de contingut emocional es poden aconseguir bons resultats. El problema està en saber escollir aquells que seran més apropiats per

cada emoció i personatge, doncs voler cobrir un ventall massa ampli pot estar fora de l'abast de la majoria de jocs. Aquest mateix motiu és el que limita el nombre d'emocions diferents que una criatura podrà demostrar, més que no pas problemes de costos de memòria o computacionals o de disseny (tot i que aquest últim també pot arribar a imposar els seus propis límits).

Els sentiments, encara que no siguin indirectament visibles, també han resultat ser d'una gran importància per expressar un estat emocional vers algú. És de destacar el fet de que en el fons es mostren al jugador per mitjà de les emocions, les quals no semblen lligades directament als sentits. I és precisament aquest camí indirecte el que segurament els hi atribueix el caire de sentiment reconegut pel jugador. Al cap i a la fi, com s'ha repetit al llarg de tot el projecte, l'únic important és la impressió que es causa al jugador, no el que realment succeeix.

Malgrat tot, encara es nota que l'expressivitat emocional obtinguda té un cert caire robòtic, no del tot biològic. Tot i així el guany emocional experimentat pel jugador és significatiu, demostrant la importància de continuar en aquesta línia. Per desgràcia, la quantitat de contingut emocional necessària, junt amb la dificultat de controlar les emocions (i el conseqüent risc que comporta posteriorment al llançament d'un joc) fan que difícilment sigui una capacitat que s'incorpori d'una forma plenament convincent en els jocs del futur més immediat, com s'espera que sí passi amb l'aprenentatge. No hi ha cap dubte però, que és un element imprescindible per despertar emocions noves fins ara en els jugadors. De fet, segons [Freeman03] pot ser la clau perquè els jocs entrin al mercat del gran públic. I és opinió de l'autor, totalment personal i subjectiva, però compartida amb [Reilly96], que aquesta capacitat emotiva, combinada amb la interactivitat, faci que els jocs, a la llarga, resultin ser un medi que ofereixi experiències clarament superiors que les ofertes actualment pel cinema (i amb això no es pretén menysprear les pel·lícules, sinó ressaltar el gran potencial que encara està per explotar en els jocs, doncs la indústria dels videojocs tot just es troba en la seva infància).

---

## Línies de futur

### Aprentatge a nivell d'acció

La manca més evident de la tècnica d'aprenentatge presentada és el fet d'haver d'aprendre a nivell de comportament. Sí que és cert que per molts comportaments pot ser suficient, inclús preferible, treballar a aquest nivell que baixar a nivell d'accions, però sempre hi ha casos en els que aprendre de les accions representa una riquesa, sinó una necessitat, molt major en la diversitat (i intel·ligència) dels comportaments realitzats a la llarga. Malauradament no és possible treballar a nivell d'accions degut als estrictes requeriments de memòria i computacionals, però sí que ho pot ser aplicant-ho només a aquells comportaments que més se'n poden beneficiar.

Per tant, sembla molt interessant ampliar el sistema d'adaptació presentat en aquest projecte amb un segon nivell d'aprenentatge i selecció a nivell d'acció, però només aplicat per uns pocs comportaments (concretament és pensa en el combat, sovint molt més complex que el simple comportament de llançament incorporat en el joc que ha servit d'experiment d'aquest projecte). La idea és seleccionar i aprendre a nivell de comportament com fins ara, però si algun comportament que requereix major diversitat és seleccionat com el comportament actiu, llavors es té una segona capa per aprendre i seleccionar les millor accions per assolir els objectius d'aquell comportament. Com que sovint el premi obtingut d'un d'aquests comportaments depèn del resultat final (per exemple, en el cas del combat si s'ha guanyat o perdut) és preferible no usar un algorisme d'aprenentatge incremental com el *Q-learning*, sinó d'un que aprengui per "episodis". L'algorisme *Montecarlo* seria una opció [Sutton98]. El mètode seria anar recollint estadístiques de cadascuna de les accions realitzades (usant també una política de comportament estocàstica per la selecció d'accions), de manera que en saber el resultat final puguin ser avaluades i entrenades per l'algorisme *Montecarlo*.

Per aquells jocs amb la sort de poder reduir el conjunt d'accions i situacions representatives d'aquestes a un mínim també pot ser interessant el model proposat per [Champanard04]. El model consisteix en classificar les accions segon el tipus de comportament al que pertanyen (per exemple, moviment, selecció d'arma, recollida

d'objectes, etc.) i aplicar estratègies d'aprenentatge adequades per cada conjunt. Amb això s'aconsegueix que una gran diversitat de comportaments apareixien per si sols sense necessitat de que ningú els implementi específicament.

## Passions

Més sovint del que en ocasions un voldria (tot i que en d'altres és molt benvingut), la capacitat racional sembla quedar totalment eclipsada per un impuls purament passional (per exemple, la gelosia). Ara mateix la millor aproximació que en pot oferir el sistema d'adaptació proposat és deixar que les emocions dictin totalment el comportament. Per desgràcia llavors s'estaria anul·lant la influència d'altres factors, que sobretot es tenen molt en compte com més baixes són les intensitats emocionals. A més, en ocasions el dissenyador del joc pot voler que un determinat comportament es realitzi com a resposta impulsiva a una determinada situació. És interessant, doncs, trobar una eina que permeti reaccionar a certes situacions anul·lant la "raó" (és a dir, ignorant aquell que es creu que realment és el millor comportament). Una solució podria ser simplement que per determinades situacions fixades a nivell de disseny s'activi una selecció "passional", prescindint de la selecció "racional" que s'ha dut a terme fins ara. Naturalment no és obvi que aquesta solució sigui suficientment bona, i caldria aprofundir més. I és que realment sembla una línia a seguir molt prometedora, doncs les passions poden causar un gran impacte emocional en el jugador.

Però no tot és blanc i negre, i menys tractant-se de les emocions. És interessant, doncs, obtenir una escala de grisos en la política de selecció entre el comportament seleccionat més "racionalment" i el motivat impulsivament per les passions. En aquesta línia, una bona idea sembla ser implicar els sentiments en la política de selecció. Sovint s'actua fent allò que es creu que és preferit per algú altre si l'estima per aquest altre és prou alta, encara que per un mateix no representi el millor benefici. I a l'inrevés si el subjecte en qüestió és odiat. Llavors, aquest efecte es pot provar d'aconseguir esbiaixant els valors Q per l'estima vers qui vagi destinat el comportament associat al valor Q (naturalment, no tots els comportaments tenen una entitat objectiu involucrada, però aquests rarament es podrien activar per motius passionals).

Caldria però, algun criteri que indiqués si un determinat comportament és beneficiós o perjudicial pel subjecte objectiu. Decidir d'on prové i qui estableix aquest criteri ja requereix un estudi més profund, tot i que una solució sempre és que vingui prefixat en temps de disseny en forma d'una taula que associï un comportament amb un grau de benefici per cada tipus d'individu (sempre des del punt de vista de cada personatge). Naturalment, és una solució molt simple i amb d'altres de més complexes es podria proporcionar un millor realisme, però segurament ja permeti obtenir bons resultats.

## **Empatia**

Ja s'ha comentat que el joc *Black&White* conté criatures capaces de demostrar un cert grau d'empatia [Evans02]. Amb l'empatia s'aconsegueix acostar més el jugador a la seva criatura, degut a que es crea la il·lusió de que la criatura respon a l'estat emocional del propi jugador, traspasant la barrera freda que imposa un ordinador. En el *Black&White* les criatures simplement usen una taula en què s'associa una acció del jugador amb l'estimació de l'emoció que es creu, en temps de disseny, que ha estat la causant de tal acció. Tot i els bons resultats obtinguts, les limitacions d'aquest sistema són òbvies. Cada persona es mou impulsada per raons diferents i, per si això no fos poc, els motius pels que ha realitzat una acció poden canviar d'un moment a un altre. Per afegir encara més llenya al foc, sovint ni les pròpies persones sabem perquè fem el que fem.

Ara bé, no és necessari endevinar amb exactitud els motius emocionals d'algú, sinó només expressar quins són els que s'han entès. De totes formes, com major sigui el grau de coincidència del que es creu amb la motivació real, més estret es pot fer el lligam emocional entre la criatura i el jugador. I si es pretén arribar amb major força a una gran diversitat de gent, no és suficient amb una taula de "persona genèrica". Caldria doncs, que cada criatura es fes el seu propi model de l'estat emocional dels demés, amb cura especial pels jugadors, aprenent dels seus propis errors. Potser es podria usar un model semblant d'aprenentatge a l'utilitzat actualment per la criatura pel comportament, però l'obtenció i avaluació correcte dels premis requeriria un estudi força important. Pot haver-hi altres solucions, però no serà fàcil trobar-ne una amb la que s'obtinguin bons resultats i alhora sigui viable la seva implementació. Malgrat la dificultat que representa expressar empatia d'una forma convincent, els beneficis són enormes i no s'ha de

menysprear. En el pitjor dels casos és altament recomanable incorporar com a mínim el sistema empàtic basat en taules que usa el *Black&White*.

## **Drama interactiu**

Als jocs sovint se'ls acusa, i amb raó, de que als personatges el pas del temps no els altera en absolut: sempre fan el mateix. En el millor dels casos, s'haurà aplicat algun algorisme d'aprenentatge i s'adaptaran als canvis de l'entorn, però continuaran perseguint els mateixos objectius finals. El problema radica en què els personatges intenten assolir aquells objectius que el dissenyador del jo els hi ha marcat per tal de que la història es desenvolupi com ha previst, la qual cosa entra en conflicte directe amb la interactivitat, on el jugador espera poder escollir la seva pròpia història.

Certament, la incorporació d'una bona adaptació i evolució de l'estat emocional ajuda a pal·liar en cert grau la mancança de que els personatges no canviïn també els seus objectius. Malauradament, aquest canvi s'ha de produir dins el marc d'una història, la qual potser també s'ha d'alterar, però de forma que continuï sent interessant pel jugador. Seria com tenir un director de cine que va ajustant constantment la història a les accions del jugador. I precisament l'equip del *projecte Oz* ja persegueix de fa un temps aquest objectiu [Reilly96]. Concretament, ho anomenen *drama interactiu*.

El fet de que el concepte de drama interactiu es proposi com a línia de futur d'aquest projecte ve degut a que també és una eina que pot ajudar enormement a despertar noves i més intenses emocions als jugadors, la qual cosa sempre ha estat l'objectiu indirecte del desenvolupament de l'aprenentatge i emocions presentades. A més, ambdós aspectes són uns aliats excel·lents per l'assoliment d'un drama interactiu eficaç. I amb l'arribada dels MMOG la necessitat d'un drama interactiu no fa més que accentuar-se, doncs on pot brillar de debò és en un món persistent, on els jugadors realment tornen a veure els mateixos personatges repetidament. Que un jugador vegi que un personatge evoluciona junt amb una història que també evoluciona, influenciada especialment per les accions dels jugadors, pot arribar a afegir un grau de realisme extraordinari.

En certa manera ja fa temps que els jocs estan fent els primers passos en aquest sentit. L'exemple més conegut potser el trobem en els jocs de rol, l'anomenat sistema de

reputació [King02]. Un sistema de reputació gestiona els esdeveniments més rellevants que cada personatge presencia, podent ser comunicats entre ells si es reuneixen en algun moment del transcurs del joc. El que es persegueix és que cada personatge actui en relació a un jugador segons el que li han vist fer (i, més important, recordin que ha fet), no el que aquest hagi pogut fer en un indret totalment fora de la percepció del personatge. També es persegueix la comunicació dels esdeveniments d'una forma realista. Certament no es pot considerar drama interactiu, però sí que és una eina que la implementació d'aquest segurament haurà d'usar.

En cert sentit, ja s'ha incorporat una taula de reputació als personatges a través dels sentiments, però aquests no tenen memòria històrica d'alguns esdeveniments que requeririen un tractament especial. És interessant doncs, la implantació d'un sistema semblant a la taula de reputació per poder augmentar la sensació de realisme atorgant memòria històrica als personatges a un cost relativament baix de memòria i computació.

### **Experiment en un MMOG real**

Finalment, clarament seria desitjable poder provar les criatures en un MMOG real, o com a mínim en un joc de similars restriccions, per poder avaluar amb major exactitud fins a quin punt és bona l'arquitectura proposada. No només es bo per determinar-ne el rendiment, sinó també per estudiar-ne els resultats d'adaptació i d'expressió emocional davant d'una major massa de jugadors. Naturalment, construir un joc d'aquesta magnitud no és trivial ni es pot realitzar amb un curt termini de temps i personal.



# Bibliografia

## **[Alexander02]**

Alexander, B. “An Architecture Based on Load Balancing”, *AI Game Programming Wisdom*. Charles River Media, 2002.

## **[Barnes02]**

Barnes, J., Hutchens, J. “Testing Undefined Behavior as a Result of Learning”, *AI Game Programming Wisdom*. Charles River Media, 2002.

## **[Brockington02]**

Brockington, M. “Level-Of-Detail AI for a Large Role-Playing Game”, *AI Game Programming Wisdom*. Charles River Media, 2002.

## **[Carles02]**

Carles R. M. “OpenDoorIA : Una llibreria per la creació d’agents intel·ligents en aplicacions a temps real”, TFC. Enginyeria La Salle, Universitat Ramon Llull, 2002.

## **[Casajús04]**

Casajús R., A. “Algorismes de nivell de detall pel càlcul del comportament en els móns virtuals”, PFC. Enginyeria La Salle, Universitat Ramon Llull, 2004.

## **[Champanard04]**

Champanard, A. J. *AI Game Development: Synthetic Creatures with Learning and Reactive Behaviors*. New Riders, 2004.

## **[Evans02]**

Evans, R. “Varieties of Learning”, *AI Game Programming Wisdom*. Charles River Media, 2002.

**[Gadanho98]**

Gadanho, S. C. “Reinforcement Learning in Autonomous Robots: An Empirical Investigation of the Role of Emotions”, Ph.D. Thesis. University of Edinburgh, 1998.

**[Gadanho01]**

Gadanho, S. C., Hallam, J. “Robot Learning Driven by Emotions”. University of Edinburgh, 2001.

**[Gadanho02]**

Gadanho, S. C. “Emotional and Cognitive Adaptation in Real Environments”. Institute of Systems and Robotics, Lisbon, Portugal, 2002.

**[Grinke04]**

Grinke, S. “Minimizing Agent Processing in *Conflict: Desert Storm*”, *AI Game Programming Wisdom 2*. Charles River Media, 2004.

**[Freeman03]**

Freeman, D. *Creating Emotion in Games: The Craft and Art of Emotioneering™*. New Riders Publishing, 2003.

**[King02]**

King, K., Alt, G. “A Dynamic Reputation System Based on Event Knowledge”, *AI Game Programming Wisdom*. Charles River Media, 2002.

**[Klug02]**

Klug, C. “Implementing Stories in Massively Multiplayer games”, [http://www.gamasutra.com/resource\\_guide/20020916/klug\\_pfv.htm](http://www.gamasutra.com/resource_guide/20020916/klug_pfv.htm). Gamasutra, 2002.  
(link consultat el 2004-09-20)

**[Lin92]**

Lin, L. J. “Self-Improving Reactive Agents Based on Reinforcement Learning, Planning and Teaching”, *Machine Learning*, volume 8, issue 3-4. Kluwer Academic Publishers, 1992.

**[Manslow02]**

Manslow, J. “Learning and Adaptation”, *AI Game Programming Wisdom*. Charles River Media, 2002.

**[McLean02]**

McLean, A. W. “An Efficient AI Architecture Using Prioritized Task Categories”, *AI Game Programming Wisdom*. Charles River Media, 2002.

**[Plutchik80]**

Plutchik, R. “A General Psychoevolutionary Theory of Emotion”, *Emotion: Theory, Research, and Experience*. New York: Academic Press, 1980.

**[Rabin04]**

Rabin, S. “Preface”, *AI Game Programming Wisdom 2*. Charles River Media, 2004.

**[Reilly96]**

Reilly, W. S. N. “Believable Social and Emotional Agents”, Ph.D. Thesis. Carnegie Mellon University, 1996.

**[Rollings03]**

Rollings, A., Morris, D. *Game Architecture and Design*. New Riders, 2003.

**[Santrock00]**

Santrock, J. W. *Psychology*. McGraw-Hill, 2000.

**[SeriousGames]**

Social Impact Games, <http://www.socialimpactgames.com/>. (link consultat el 2004-09-18)

**[Sutton98]**

Sutton, R., Barto, A. G. *Reinforcement Learning: An Introduction*. MIT Press, 1998.

**[Toda94]**

Toda, M. "The urge theory of emotion and cognition, chapter 2: Basic structure of the urge operations", Technical Report 94-1-01. School of Computer and Cognitive Sciences, Chuyko University, 1994.