

Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco
División de Ciencias Básicas e Ingeniería
Licenciatura en Ingeniería en Computación

***Simulación dinámica en el proceso de toma de decisiones en una
sociedad multiagente***

Proyecto de Investigación

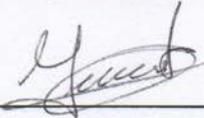
Trimestre 2016 Primavera

Alumno:

Miranda Rochin Eduardo

209306196

rochingoon@gmail.com



Firma

Asesora:

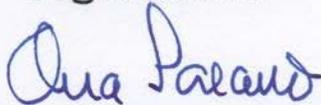
Laureano Cruces Ana Lilia

Profesora Titular "C"

Doctora en Ciencias

Departamento de Sistemas

clc@azc.uam.mx



Firma

Coasesora:

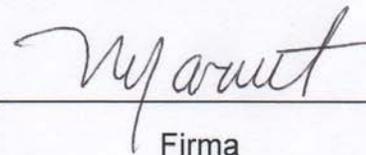
Mora Torres Martha

Profesora Asociada "D"

Doctora en Ciencias

Departamento de Sistemas

mmt@azc.uam.mx



Firma

Fecha de entrega: 20 de septiembre de 2016

Declaratoria

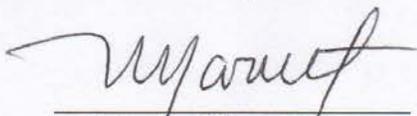
Yo, Ana Lilia Laureano Cruces, declaro que aprobé el contenido del presente Reporte de Proyecto de Integración y doy mi autorización para su publicación en la Biblioteca Digital, así como en el Repositorio Institucional de UAM Azcapotzalco.



Ana Lilia Laureano Cruces

Asesora

Yo, Martha Mora Torres, declaro que aprobé el contenido del presente Reporte de Proyecto de Integración y doy mi autorización para su publicación en la Biblioteca Digital, así como en el Repositorio Institucional de UAM Azcapotzalco.



Martha Mora Torres

Coasesora

Yo, Eduardo Miranda Rochin, doy mi autorización a la Coordinación de Servicios de Información de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, para publicar el presente documento en la Biblioteca Digital, así como en el Repositorio Institucional de UAM Azcapotzalco.



Eduardo Miranda Rochin

Alumno

Resumen

Los sistemas multi-agente son sistemas que constan de un agente autónomo y uno o más agentes subordinados a éste. En estos sistemas, los agentes se comunican y comparten la información que obtienen del entorno para resolver un problema que un sólo agente no podría.

Bajo este contexto, se realiza una simulación de *animats* (animales simulados) insertos en una sociedad jerárquica donde cada *animat* es visto como un agente subordinado al *animat* líder de la manada, quien cuenta con autonomía para tomar decisiones o cambiar de objetivos. Los *animats* de jerarquías menores siguen los movimientos del líder y la cooperación entre ellos es vital para sobrevivir en el entorno en el que viven, pues trabajan juntos para encontrar comida, y escapar de los depredadores.

Los comportamientos que presentan los *animats* son el resultado de las motivaciones internas (emociones, personalidad, fisiología, edad, entre otras) y las motivaciones externas (eventos dinámicos del entorno). Se desarrolló un modelo cognitivo con diferentes herramientas entre ellas: modelos mentales, análisis cognitivo de tareas, grafos genéticos; siendo el último receptáculo un mapa cognitivo difuso; cuya matriz de adyacencia asociada es el motor de inferencia, que permite el proceso de toma de decisiones de cada *animat*.

Esta investigación de naturaleza multidisciplinaria pretende ser una contribución a campos de estudio como la etología cognitiva, psicología cognitiva, consciencia artificial y emociones sintéticas.

Tabla de contenido

1.	Introducción	1
2.	Antecedentes	1
2.1	Proyectos de Integración o Terminales	1
2.2	Artículos de Investigación	2
3.	Justificación.	3
4.	Objetivos.....	3
4.1	Objetivo General	3
4.2	Objetivos específicos	3
5.	Marco Teórico	3
5.1	Corriente Simbólica.	4
5.2	Corriente sub-simbólica.....	4
5.3	Sistemas Multi-Agente.	4
5.4	Mapas Cognitivos Difusos.....	5
5.5	Teoría OCC.....	6
5.6	Consciencia Artificial en un Chimpancé	6
6.	Desarrollo del proyecto.....	6
6.1	Modelos Mentales.....	6
6.1.1	Animats.....	6
6.1.2	Depredadores.....	8
6.2	Análisis Cognitivo de Tareas	9
6.2.1	Análisis del Comportamiento Cognitivo de Tareas	9
6.2.2	Grafo genético	14
6.3	Estructura Afectivo-Cognitiva.....	17
6.4	Matriz del mapa cognitivo difuso	18
6.4.1	Escenarios Interpretados.....	20
6.5	Reglas para la interacción entre <i>animats</i> y el entorno	21
6.5.1	Animat	21
6.5.2	Manada.....	22
6.5.3	Grupo.....	23
6.5.4	Comida.....	23
6.5.5	Depredadores.....	23

6.6 Implementación	23
6.6.1 Unity 5	23
6.6.2 Diagrama de Clases	24
6.7 Interfaz Gráfica para el programa	25
7. Resultados	27
8. Conclusiones.....	30
9. Referencias Bibliográficas.....	31
10. Apéndices	35
10.1 Diagrama de clases.....	35

Índice de Figuras

Figura 1. Ejemplo de MCD.....	5
Figura 2. Simbología del GG	15
Figura 3. Grafo genético del comportamiento percibir peligro.	15
Figura 4. Grafo genético del comportamiento evaluar entorno.....	16
Figura 5. Grafo genético del comportamiento pelear.....	16
Figura 6. Grafo genético del comportamiento recolectar.....	16
Figura 7. Grafo genético del comportamiento moverse.....	17
Figura 8. Estructura Afectivo-Cognitiva de un chimpancé.	18
Figura 9. Mapa cognitivo difuso del animat.....	19
Figura 10. Proyectos MAS realizados en Unity.....	24
Figura 11. Diagrama de clases.....	24
Figura 12. Entorno donde se desarrolla la simulación.....	25
Figura 13. Cuadro del estado del animat.....	26
Figura 14. Reloj de la simulación.....	26
Figura 15. Interfaz visual de la simulación.....	27
Figura 16. Formación de una nueva manada.....	27
Figura 17. Formación de un grupo para buscar comida.....	28
Figura 18. Grupo de animats buscando comida.....	28
Figura 19. Un grupo de animats comiendo.....	29
Figura 20. Animat Alfa y Animat Beta peleando.....	29
Figura 21. Animat Alfa después de ganar una pelea.....	29
Figura 22. Animat Alfa durmiendo.....	30
Figura 23. Un grupo de animats huyendo de un depredador.....	30

Índice de Tablas

Tabla 1. Primera iteración modelo mental 1.....	9
Tabla 2. Segunda iteración modelo mental 1.....	9
Tabla 3. Tercera iteración modelo mental 1.	10
Tabla 4. Cuarta iteración modelo mental 1.....	10
Tabla 5. Primera iteración modelo mental 2.....	10
Tabla 6. Segunda iteración modelo mental 2.....	11
Tabla 7. Tercera iteración modelo mental 2.	11
Tabla 8. Primera iteración modelo mental 3.....	11
Tabla 9. Segunda iteración modelo mental 3.....	11
Tabla 10. Tercera iteración modelo mental 3.	12
Tabla 11. Primera iteración modelo mental 4.....	12
Tabla 12. Segunda iteración modelo mental 4.....	12
Tabla 13. Tercera iteración modelo mental 4.	12
Tabla 14. Primera iteración modelo mental 5.....	13
Tabla 15. Segunda iteración modelo mental 5.....	13
Tabla 16. Tercera iteración modelo mental 5.	13
Tabla 17. Cuarta iteración modelo mental 5.....	13
Tabla 18. Quinta iteración modelo mental 5.	14
Tabla 19. Primera iteración modelo mental 6.....	14
Tabla 20. Segunda iteración modelo mental 6.....	14
Tabla 21. Matriz de adyacencia del MCD.	20

1. Introducción

La Inteligencia Artificial (IA) es una rama de la computación que, como su nombre lo sugiere, busca entre otras cosas, la simulación del comportamiento humano ya sea cognitivo o físico. Para lograrlo se han adoptado diferentes técnicas y enfoques, que varían entre la búsqueda de un actuar racional y un comportamiento humano [1]. Estos enfoques se pueden clasificar de diferentes formas; una de estas clasificaciones propone la existencia de dos corrientes opuestas llamadas “simbólica” y “sub-simbólica” [2].

La corriente simbólica, fundamentada en los trabajos de Newell y Simon [3], simula la inteligencia racional al manipular símbolos. Los sistemas diseñados bajo este enfoque suelen ser sistemas complejos basados en lógica de predicados y lógica matemática. Sin embargo, la interpretación de los símbolos usados se hace de forma independiente del significado, es decir, que la función de las máquinas se restringe a la forma en que el mundo es interpretado por quien desarrolló la representación interna de los símbolos.

Por su parte, los modelos sub-simbólicos implican una interpretación del mundo en tiempo real, dando origen a un comportamiento emergente. Uno de los conceptos fundamentales de esta corriente es el de “agente-reactivo”, una entidad de software situada en entornos que percibe y sobre los que puede actuar de acuerdo con sus propios intereses y competencias [4]. Este enfoque, si bien correcto, es más experimental que el simbólico; a esta corriente pertenecen las redes neuronales artificiales, los autómatas celulares, los mapas cognitivos difusos, etc. Una evolución natural de esta corriente es la IA distribuida, donde se utilizan sistemas con múltiples agentes inteligentes que interactúan entre ellos, para lograr un comportamiento emergente. Estos sistemas son llamados Sistemas Multiagente (MAS por sus siglas en inglés: *Multi-Agent System*) o arquitecturas multiagente [5].

Dentro de la búsqueda de un sistema que logre adaptarse a su entorno se inscribe la investigación de las ciencias cognitivas o, más específicamente, de la psicología cognitiva, donde se busca comprender el cómo y por qué de la conducta humana para posteriormente crear con ello modelos computacionales.

Existen muchas teorías de las emociones, este trabajo se enmarca en la teoría de las emociones cognitivas propuesta por Ortony, Clore y Collins, también llamada “Teoría OCC”, que toma a la psicología cognitiva como base para el manejo de las emociones [6]. Esta teoría nos proporciona la estructura necesaria para desarrollar un modelo cognitivo-afectivo que se incluya en el comportamiento de un agente durante el proceso de toma de decisiones en un contexto acotado.

Este proyecto pretende hacer la simulación de una pequeña sociedad jerárquica de *animats* (animales simulados) [7], basándose en el modelo cognitivo desarrollado en [8] y la teoría OCC, utilizando una arquitectura multiagente [9], [10], [11].

2. Antecedentes

2.1 Proyectos de Integración o Terminales

1. Simulación de tránsito vehicular dentro de una glorieta usando autómatas celulares [12]

En este proyecto se realiza una simulación del tránsito vehicular en una glorieta; para hacerlo se limita a dos carriles y se utiliza una técnica de inteligencia artificial: autómatas celulares. **Relación:** en ambos proyectos se realiza, con la ayuda de una técnica de la IA, una simulación que si bien es limitada, produce

resultados que contribuyen al estudio de sus respectivos campos. **Diferencia:** la técnica de inteligencia artificial usado en ambos proyectos es diferente: en el primero se utilizan autómatas celulares, y en el propuesto se utiliza un sistema multiagente; además, el objetivo del primer proyecto es aportar al análisis del tráfico en una glorieta, mientras el segundo pretende aportar al campo de la consciencia artificial y las emociones sintéticas.

2. Autonomía para un robot excavador lunar [13]

En este proyecto, mediante el uso de redes neuronales artificiales y aprendizaje supervisado, se busca la autonomía de un robot para desplazarse de un punto a otro sobre la superficie lunar. **Relación:** ambos proyectos se valen de una técnica de inteligencia artificial para lograr un comportamiento autónomo que supere problemas. **Diferencia:** las redes neuronales artificiales utilizadas en este proyecto, no manifiestan un comportamiento reactivo adaptable a situaciones inesperadas y requieren de un aprendizaje supervisado, mientras que el modelo utilizado en este proyecto mostrará el comportamiento autónomo, reactivo y emergente sin previo aprendizaje.

3. Clasificación de las emociones en el habla en español [14]

En este proyecto, el autor reconoce la importancia de las emociones para el estudio de la inteligencia artificial y hace una clasificación de las mismas mediante un análisis fonético de variables como ritmo e intensidad con una voz hablando en español. **Relación:** ambos proyectos ven en las emociones un importante objeto de estudio para complementar las investigaciones de la inteligencia artificial. **Diferencia:** el enfoque de ambos proyectos es fundamentalmente distinto, mientras uno busca la clasificación de las emociones, el otro las utiliza para complementar el proceso de toma de decisiones de un *animat* y simular un comportamiento dentro de un contexto específico.

2.2 Artículos de Investigación

4. *Artificial Self Awareness for Emergent Behavior* [8]

En este artículo se modela un comportamiento reactivo, utilizando como objeto de estudio un chimpancé, basándose en modelos mentales, y en una estructura cognitivo-afectiva. **Relación:** este artículo representa la base más importante para el proyecto, pues se utilizará el modelo cognitivo desarrollado para el chimpancé. **Diferencia:** el artículo da una aproximación teórica al problema, mientras que este proyecto pretende cubrir la aproximación experimental, a través de una simulación. Otra diferencia es que el presente proyecto generaliza el análisis hecho para el chimpancé y lo presenta como un *animat*.

5. *A multi-agent system based on Unity 4 for virtual perception and wayfinding* [15]

En este trabajo se presenta una simulación de un sistema multiagente que estudia el comportamiento de pasajeros de un aeropuerto al leer señales para identificar la salida del mismo. **Relación:** como en el sistema propuesto, se realiza una simulación de un sistema multiagente en el framework Unity [16]. **Diferencia:** en esta investigación se utilizan algoritmos de percepción para que los agentes busquen la salida por medio de letreros, mientras que en la propuesta, los agentes interactúan tanto con el entorno como entre ellos, siendo el objeto de estudio su comportamiento reactivo y su conducta emergente, que considera a las emociones como parte de la información a ser evaluada durante el proceso de toma de decisiones.

6. Simulación de un juego de fútbol utilizando una arquitectura Multiagente-Reactiva [17]

En este artículo se presenta un análisis y diseño de los comportamientos de jugadores de fútbol para hacer una simulación multiagente reactiva con dos equipos completos (11 jugadores por equipo). **Relación:** es un proyecto muy similar al propuesto, se utiliza un sistema multiagente y se realiza una simulación. **Diferencia:** la complejidad del comportamiento simulado es relativamente más simple, además, el framework utilizado para la simulación fue MASON [18] y, finalmente, para modelar el comportamiento de los jugadores de fútbol no se tomaron en cuenta las emociones.

3. Justificación.

La Psicología Cognitiva y la Inteligencia Artificial nacen en el año de 1956. Desde entonces, estas dos ramas se han complementado, haciendo presentes temas de estudio como la consciencia artificial y las emociones sintéticas, entre otros. El estudio de estas últimas es útil para comprender el funcionamiento cognitivo, haciendo posible la creación de artefactos inteligentes que lo simulen, y para adaptar el entorno, transpolando el modelo de análisis y diseño a los distintos espacios que habita el ser humano

Resulta de vital importancia comprender la forma en que los seres humanos percibimos y experimentamos el mundo alrededor de nosotros, y cómo aprendemos de él, para plasmar estas mismas cualidades en los artefactos que diseñemos (físicos o virtuales), y así lograr una interacción empática que les permita comprendernos. Este trabajo pretende ser un precedente para el estudio de la consciencia artificial, realizando una simulación con base en un modelo cognitivo-afectivo a través del cual se genere un comportamiento reactivo y emergente que guíe las conductas de los *animats* por emociones y objetivos.

4. Objetivos

4.1 Objetivo General

- Realizar la simulación de una sociedad jerárquica de *animats* implementada bajo el enfoque de sistemas multiagente, incluyendo el aspecto emocional durante el proceso de toma de decisiones.

4.2 Objetivos específicos

- Desarrollar la interfaz del programa que servirá para realizar la simulación
- Implementar los distintos comportamientos del *animat* (comer, pelear, morir, asociarse, explorar en grupo, entre otros)
- Implementar el comportamiento de un agente depredador de acuerdo a su modelo mental.
- Implementar los objetos que conforman el entorno: la comida, el terreno, entre otros.
- Realizar la incorporación de un software que funcionará como motor de inferencia de los comportamientos

5. Marco Teórico

En la introducción ya se ha hablado un poco acerca de la Inteligencia Artificial y de sus dos corrientes principales, la simbólica, liderada por Newell y Simon [3] y la sub-simbólica, originada por el pensamiento de Rodney Brooks a finales de la década de los 80 y a inicio de los 90 [19], [20].

5.1 Corriente Simbólica.

La corriente simbólica utiliza proposiciones lógicas para hacer representaciones del mundo real que puedan ser introducidas en una máquina. Es decir, todo el conocimiento que necesite una máquina se escribe como una estructura que entienda y a la que le pueda aplicar reglas lógicas para dar una respuesta. Un ejemplo de esto son las listas en LISP y los hechos en PROLOG.

Los sistemas construidos bajo estos enfoques se conocen como sistemas expertos, pues la cantidad de conocimiento necesaria para que puedan ser aplicables a un problema del mundo real debe ser bastante. Algunos ejemplos famosos son la máquina DeepBlue [21], una máquina que venció al campeón de ajedrez Kasparov; MYCIN, una máquina que diagnostica infecciones en la sangre y sugiere tratamientos [22]; y más reciente, AlphaGo un sistema experto fabricado por Google que venció al campeón de Go.

5.2 Corriente sub-simbólica.

Mientras que la corriente simbólica se concentra en proporcionar al sistema una representación del mundo, en la corriente sub-simbólica es el mismo sistema el que crea una representación interna del mismo con base en la información que va obteniendo. Esta diferencia, aunque parece trivial, es lo que permite que los sistemas sub-simbólicos puedan aplicarse en problemas del mundo real donde se espera que haya cambios en el entorno.

5.3 Sistemas Multi-Agente.

Los sistemas o arquitecturas multiagente, son un método de la inteligencia artificial subsimbólica y la inteligencia artificial distribuida. En éstas, se tienen dos o más agentes relacionados entre sí y al menos uno de ellos es un agente autónomo. Algunos de los autores más importantes son Brooks, Ferber (ver [23]), Sun (ver [24]) y Maes (ver [25]) entre otros.

En estas arquitecturas, la organización de los agentes tienen un factor tanto estático, como dinámico. Es estático porque antes de que los agentes empiecen a tomar decisiones, ya se tienen algunas reglas básicas para la organización, por ejemplo, quiénes son los agentes autónomos, cuántos hay, con qué agentes se comunican, etc; es dinámico, porque una vez que el sistema inicia, existe una interacción entre los agentes y el entorno, a través de la cual las estructuras pueden ir cambiándose y adaptándose para cumplir con las metas de los agentes autónomos.

La forma cómo interactúan a través del acoplamiento de los agentes el cual puede ser fuerte (comparten memoria) o débil (se comunican a través de mensajes), esta última es especialmente útil cuando se está trabajando con una visión compartida del mundo (vistas locales) pues cada agente conoce o busca conocer una parte del entorno y se hace cargo de la misma. Además, para mejorar la falta de información e incompletez de los datos acerca del entorno se pueden utilizar algunas técnicas como: algoritmos estocásticos (de optimización, redes neuronales), sistemas difusos (lógica difusa, mapas cognitivos difusos), redes de certeza (modelos probabilísticos), entre otros.

Como resultado de estos modelos se tiene el concepto de *agentes reactivos*. Los agentes reactivos, son agentes situados, que perciben su entorno, y cuya funcionalidad surge de la interacción con el entorno y entre ellos; dando como resultado un comportamiento emergente dado que el entorno es dinámico. Esta corriente cuenta con una gran influencia de la psicología conductual; dado que las conductas son las que

quedan encapsuladas en los agentes. Más información sobre sistemas multi-agente en [9], [12], [26], [27], [28].

5.4 Mapas Cognitivos Difusos

Cuando se trabaja con inteligencia artificial, normalmente se tiene que buscar una forma de representar el conocimiento para que el sistema pueda hacer inferencias con respecto al mundo, (conocimientos factuales, procedimentales, declarativos entre otros). Existen muchas maneras de hacer estas representaciones, algunas de ellas son: heurísticas, ontologías con motores de inferencia, redes neuronales artificiales, redes semánticas, mapas cognitivos difusos, y scripts entre otros.

Un mapa cognitivo difuso (MCD) es una representación del conocimiento que funciona como una red capaz de guardar y aprender nuevos conocimientos. Se llama difuso porque utiliza la misma idea central que la lógica difusa: en la vida real hay incertidumbre, y un modelo binario no es eficiente para representarla.

Los MCD fueron descritos por Kosko [29] y se representan como un grafo dirigido-pesado. Los conceptos son los nodos del grafo, y las aristas son las relaciones que existen entre los conceptos. Las relaciones pueden ser positivas, negativas o neutras y los valores que toman comprenden desde [-1 a 1] (ver Figura 1).

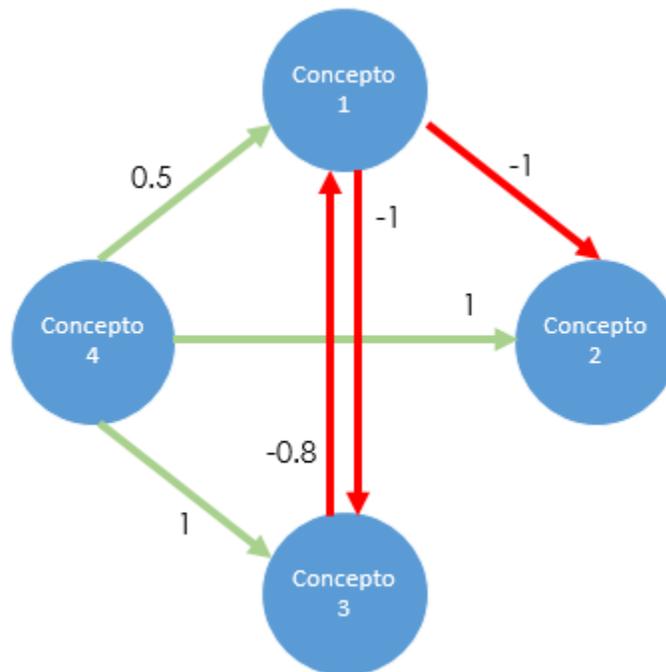


Figura 1. Ejemplo de MCD.

Una relación positiva de un nodo *A* a un nodo *B*, afecta de manera directamente proporcional. Una relación negativa de un nodo *A* a un nodo *B*, afecta de manera inversamente proporcional. Una relación neutra significa que no afecta de ninguna manera.

Al ser esta representación del conocimiento un grafo dirigido, se puede visualizar como una matriz de adyacencia, y, los distintos escenarios que representen el estado actual del sistema se pueden ver como

vectores. De esta manera, si queremos utilizar nuestra representación para conocer un posible escenario podemos multiplicar el vector de entrada (Escenario de entrada) por la matriz, y el resultado de esta operación nos da un posible escenario de salida. Más información y aplicaciones sobre mapas cognitivos difusos pueden consultarse en [30], [31].

5.5 Teoría OCC.

En la actualidad se están empezando a trabajar temas como la consciencia artificial y las emociones sintéticas, ambas forman parte de la inteligencia artificial donde se busca simular el fenómeno de la consciencia llamado consciencia artificial [32]. Estos temas están fuertemente ligados a la psicología cognitiva (ver [11], [33], [34]).

En 1988 Ortony, Clore y Collins propusieron la teoría OCC [6] donde explican una estructura cognitiva para las emociones. Ellos buscan explicar qué determina la intensidad de una emoción, y para hacerlo, proponen una macroestructura compuesta por los eventos, los agentes y los objetos del entorno, así como variables para la intensidad que pueden ser locales o globales (ver [8], [10], [35]).

5.6 Consciencia Artificial en un Chimpancé

En [8] se hace el modelo de una conducta reactiva para un chimpancé que vive en una sociedad con rangos jerárquicos. Para modelar esta conducta se utilizó la teoría OCC y para representar el conocimiento se utilizó un MCD. En este trabajo cada chimpancé está compuesto por múltiples agentes, y es a su vez un agente que forma parte de otro sistema multiagente, su manada. El objetivo principal del chimpancé es su bienestar, y dependiendo de su jerarquía, le será más o menos fácil alcanzar su meta.

Este artículo es la base teórica para el presente proyecto, de éste se toma todo el análisis teórico de la conducta y comportamiento del chimpancé y se generaliza. Los chimpancés son el punto de inicio de esta investigación, sin embargo, al no ser una representación exhaustiva del entorno y la conducta; se decide darles el nombre de *animats*. Siendo estos últimos seres que habitan entornos virtuales.

6. Desarrollo del proyecto.

6.1 Modelos Mentales

6.1.1 *Animats*

La conducta reactiva del *animat* es el resultado de la activación de los distintos comportamientos posibles de acuerdo con el entorno y sus motivaciones internas. Los comportamientos son la base para hacer la programación tomando como base el análisis hecho para un chimpancé en [8] que da como resultado los modelos mentales siguientes:

Modelo Mental 1 (Principal)

Bienestar

Muerto = 0

REPETIR

Evaluar_Entorno (1);

MIENTRAS (Peligro = 0)

Asociarse (2);
FIN_MIENTRAS
HASTA (Peligro = 3)
FIN_Bienestar

Modelo Mental 2

Evaluar_Entorno (1);

Percibir_Peligro(6);
CASO (Peligro):
1: Someterse (7) (Perder); (Muerto = 0)
2: Huir (8) (Depredador); (Muerto = 0);
3: Morir (9) (Por defecto, significa que el chimpancé: no se sometió ni huyó); (Muerto = 1);
FIN_CASO
FIN_Evaluar_Entorno

Modelo Mental 3

Asociarse (2);

Explorar en grupos (3);
SI (Peligro = 0) ENTONCES
CASO (1. Hambre o 2. Necesita elevar jerarquía):
1: Recolectar/Cazar (4); (Hambre);
2: Pelear (5) (Es desafiado o desafía);
FIN_CASO
FIN_SI
FIN_Asociarse (Vivo = 1; Muerto = 0)

Modelo Mental 4

Recolectar o Cazar (4);

Explorar en grupos (3);
SI (Alimentado (10)) ENTONCES
Sobrevivir (13) y Bienestar (15);
FIN_SI
FIN_Recolectar o Cazar (Vivo = 1; Muerto = 0)

Modelo Mental 5

Pelear (5);

CASO (1. Ganar, o 2. Perder):
1: Ganar (11): (Elevar o Mantener Jerarquía)
Y (Bienestar);
2: Perder (12) (Percibir Peligro);
FIN_CASO
FIN_Pelear

Modelo Mental 6

Explorar en grupos (6);

Evaluar_Entorno (1);

FIN_Explorar en grupos

Modelo Mental 7

Percibir Peligro (6);

Peligro = 0

SI (Depredador) ENTONCES

Peligro = 1

SI (Débil) ENTONCES

Peligro = 3

FIN_SI

OTRO SI (Perder) ENTONCES

Peligro = 2

SI (Rebelde) ENTONCES

Peligro = 3

FIN_SI

FIN_SI

FIN_Percibir_Peligro

El comportamiento que se realiza es seleccionado por medio de una matriz causal, presentada en la sección 6.4 Matriz del mapa cognitivo difuso, que relaciona las emociones del *animat* y los eventos dinámicos del entorno.

6.1.2 Depredadores

Los depredadores tienen un comportamiento sencillo, en el que únicamente se contempla vagabundear por el entorno y no tienen necesidades específicas, es decir, no buscan alimentarse ni pelear. Si un *animat* entra dentro del rango de visión de los depredadores, éstos lo perseguirán. Si el depredador es más rápido que el *animat*, lo alcanzará y matará; en caso contrario, eventualmente saldrá de su rango de visión y continuará caminando.

Modelo Mental Depredador

Cazar

Vagabundear_por_entorno (1);

SI (Animat = 1) ENTONCES

Perseguir (2);

FIN_Cazar

Se hace hincapié en que los modelos mentales son comportamientos generales, donde no se consideran los detalles técnicos de la implementación en un lenguaje de programación.

6.2 Análisis Cognitivo de Tareas

6.2.1 Análisis del Comportamiento Cognitivo de Tareas

El análisis del comportamiento cognitivo de tareas (BCAT por sus siglas en inglés *Behavior Cognitive Analysis of Tasks*), es una herramienta de la psicología cognitiva que nos permite hacer un análisis y diseño de los comportamientos con el fin de simularlos y encapsularlos en agentes robots o software [36]. Estos comportamientos se analizan y se van separando en capas cada vez más simples. Este resultado resulta perfecto para la teoría de un agente reactivo que va construyendo comportamientos complejos, con base en comportamientos más simples.

Para este proyecto, se tomaron como base los modelos mentales del chimpancé presentados en la sección 6.1.1 y se realizó el BCAT. De cada modelo mental se obtienen las tareas principales y se analiza si su contenido es factual, estratégico o procedimental. Posteriormente se hace una descomposición de manera recursiva de las tareas principales, en subtareas de donde se obtiene información de cuáles son las habilidades necesarias y los conocimientos necesarios para llevarlas a cabo (ver [36], [37]).

Modelo Mental 1 (Principal)

Tarea: Tener Bienestar

Paso 1: Evaluar entorno

Paso 2: Asociarse

Desarrollo de los pasos	Contenido de los pasos	Tipo de representación	Complejidad de los procesos subyacentes
1. Evaluar Entorno	Factual	Estructuras y Procesos	Discriminación
2. Asociarse	Estratégico, Procedimental ¿e interactivas?	Procesos	Solución de Problemas

Tabla 1. Primera iteración modelo mental 1.

Habilidades	Conocimiento Necesario	Representación Conceptual
Reconocimiento de patrones	Comida, Otros Chimpancés	Paso 1
Estratégico y procedimental	Machos Alfa y depredadores, huir o asociarse.	Paso 2

Tabla 2. Segunda iteración modelo mental 1.

Habilidades	Conocimiento Necesario	Representación Conceptual
-	-	Paso 1
Táctica, Motor-Grueso	Asociarse con macho Alfa, o huir si enemigo	Paso 2

Tabla 3. Tercera iteración modelo mental 1.

Habilidades	Conocimiento Necesario	Representación Conceptual
-	-	Paso 1
Táctica, Motor-Grueso	Moverse con otro chimpancé o correr lejos	Paso 2

Tabla 4. Cuarta iteración modelo mental 1.

Modelo Mental 2

Tarea: Evaluar entorno

Paso 6: Percibir peligro

Paso 7: Someterse

Paso 8: Huir

Paso 9: Morir

Desarrollo de los pasos	Contenido de los pasos	Tipo de representación	Complejidad de los procesos subyacentes
6. Percibir peligro	Factual	Estructuras y Procesos	Discriminación
7. Someterse	Estratégico y Procedimental	Procesos	Solución de problemas
8. Huir	Estratégico y Procedimental	Procesos	Solución de problemas
9. Morir	Procedimental	Estructuras	Solución de problemas

Tabla 5. Primera iteración modelo mental 2.

Habilidades	Conocimiento Necesario	Representación Conceptual
Reconocimiento de patrones	Depredadores	Paso 6

Estratégico y procedimental	Personalidad (Ch), Tipo de depredador, Reconocimiento del terreno	Paso 7 y 8
Procedimental	-	Paso 9

Tabla 6. Segunda iteración modelo mental 2.

Habilidades	Conocimiento Necesario	Representación Conceptual
-	-	Paso 6
Táctica, Motor-Grueso	Someterse o huir	Paso 7 y 8
Motor-Grueso	-	Paso 9

Tabla 7. Tercera iteración modelo mental 2.

Modelo Mental 3

Tarea: Asociarse

Paso 3: Explorar en grupo

Paso 4: Recolectar/Cazar

Paso 5: Pelear

Desarrollo de los pasos	Contenido de los pasos	Tipo de representación	Complejidad de los procesos subyacentes
3. Explorar en grupo	Estratégico, Procedimental	Estructuras y Procesos	Generalización
4. Recolectar/Cazar	Estratégico Procedimental	Procesos	Discriminación
5. Pelear	Estratégico, Procedimental	Procesos	Solución de problemas

Tabla 8. Primera iteración modelo mental 3.

Habilidades	Conocimiento Necesario	Representación Conceptual
Estratégico y Procedimental	Comida, Depredadores	Paso 3
Procedimental	Recolectar y cazar, Otros chimpancés	Paso 4
Estratégico y Procedimental	Reconocer a otros chimpancés	Paso 5

Tabla 9. Segunda iteración modelo mental 3.

Habilidades	Conocimiento Necesario	Representación Conceptual
Táctica, Motor-Grueso	Entorno	Paso 6
Motor-Grueso	Recolectar, Cazar y pelear	Paso 4
Táctica, Motor-Perceptual	Saber pelear	Paso 5

Tabla 10. Tercera iteración modelo mental 3.

Modelo Mental 4

Tarea: Recolectar

Paso 10: Alimentarse

Paso 13: Sobrevivir

Paso 15: Bienestar

Desarrollo de los pasos	Contenido de los pasos	Tipo de representación	Complejidad de los procesos subyacentes
10. Alimentarse	Procedimental	Procesos	Solución de problemas
13. Sobrevivir	Estratégico	Procesos	Solución de problemas
15. Bienestar	Procedimental	Procesos	Solución de problemas

Tabla 11. Primera iteración modelo mental 4.

Habilidades	Conocimiento Necesario	Representación Conceptual
Procedimental	Tipos de comida	Paso 10
Procedimental	Táctico	Paso 13
Procedimental	-	Paso 15

Tabla 12. Segunda iteración modelo mental 4.

Habilidades	Conocimiento Necesario	Representación Conceptual
Motor-Grueso	Saber comer	Paso 10
Motor-Perceptual	-	Paso 13
Motor-Perceptual	-	Paso 15

Tabla 13. Tercera iteración modelo mental 4.

Modelo Mental 5

Tarea: Pelear

Paso 11: Ganar

Paso 12: Perder

Desarrollo de los pasos	Contenido de los pasos	Tipo de representación	Complejidad de los procesos subyacentes
11. Ganar	Procedimental	Procesos	Solución de problemas
12. Perder	Procedimental	Procesos	Solución de problemas

Tabla 14. Primera iteración modelo mental 5.

Habilidades	Conocimiento Necesario	Representación Conceptual
Procedimental	Estratégico	Paso 11
Procedimental	Estratégico	Paso 12

Tabla 15. Segunda iteración modelo mental 5.

Habilidades	Conocimiento Necesario	Representación Conceptual
Estratégico	Movimientos tácticos	Paso 11
Estratégico	Movimientos tácticos	Paso 12

Tabla 16. Tercera iteración modelo mental 5.

Habilidades	Conocimiento Necesario	Representación Conceptual
Táctico	Conocer el terreno, conocer tus habilidades como guerrero, conocer del contrincante	Paso 11
Táctico	Conocer el terreno, conocer tus habilidades como guerrero, conocer del contrincante	Paso 12

Tabla 17. Cuarta iteración modelo mental 5.

Habilidades	Conocimiento Necesario	Representación Conceptual
Motor Grueso	Conocer el terreno, conocer tus habilidades como guerrero, conocer del contrincante	Paso 11
Motor Grueso	Conocer el terreno, conocer tus habilidades como guerrero, conocer del contrincante	Paso 12

Tabla 18. Quinta iteración modelo mental 5.

Modelo Mental 6

Tarea: Explorar en grupos.

Paso 1: Evaluar Entorno

Desarrollo de los pasos	Contenido de los pasos	Tipo de representación	Complejidad de los procesos subyacentes
1. Evaluar Entorno	Factual	Estructuras y Procesos	Discriminación

Tabla 19. Primera iteración modelo mental 6.

Habilidades	Conocimiento Necesario	Representación Conceptual
Reconocimiento de patrones	Comida, Otros Chimpancés	Paso 1

Tabla 20. Segunda iteración modelo mental 6.

6.2.2 Grafo genético

Los grafos genéticos (GG) [38] son una forma de representar el conocimiento. Los conceptos que representan el conocimiento de cualquier tipo se agrupan en islas y se relacionan con distintos tipos de conexiones entre ellos. Los GGs se han utilizado en distintos contextos, relacionados con el diseño de las conductas: [31], [35], [36], [39], [40].

Para visualizar de manera más clara la manera en que se estructura el conocimiento de los *animats* se realizó un grafo genético que utiliza los siguientes tipos de conexiones:

- Compuesto por*: Implica que el concepto está integrado por otro concepto.
- Subclase*: Implica que el concepto es una especialización de otro concepto.
- Antes que*: Implica que el concepto antecede a otro concepto.
- Necesita de*: Implica que para que sea posible el concepto, tiene que estar presente otro concepto.
- Después de*: Implica que el concepto sucede a otro concepto.

También hay una distinción entre los distintos tipos de conocimiento utilizados, pudiendo ser éstos de tres tipos:

- A. Acción
- B. Procedimiento
- C. Factual

Considerando las definiciones anteriores sobre los grafos genéticos y tomando como base los modelos mentales, y el BCAT se desarrollan los grafos genéticos que se muestran en las figuras 4 a 7. A continuación se muestra la simbología utilizada:

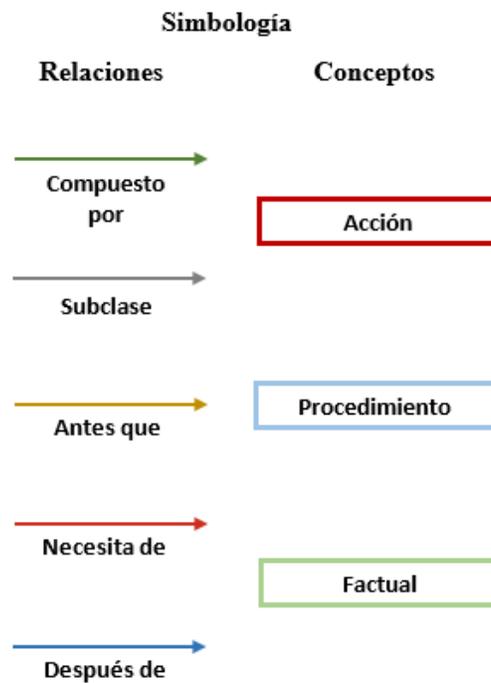


Figura 2. Simbología del GG

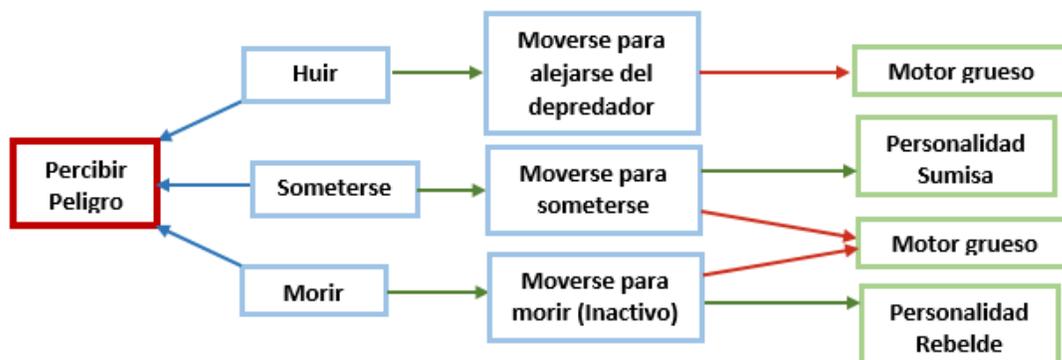


Figura 3. Grafo genético del comportamiento *percibir peligro*.

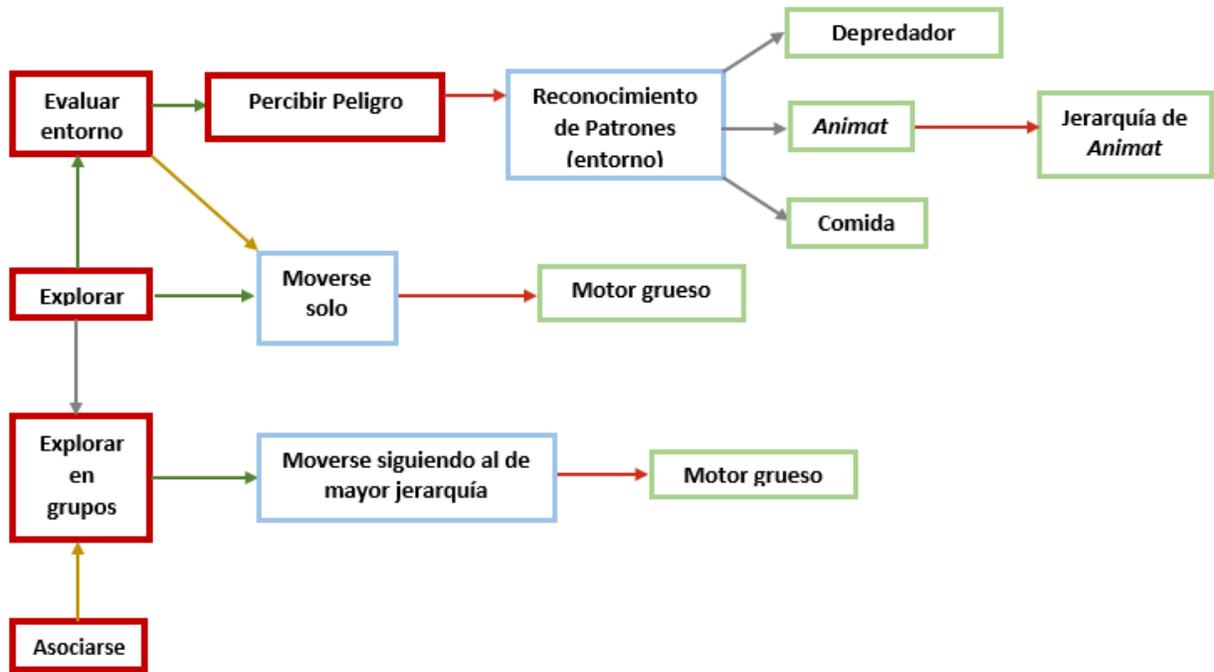


Figura 4. Grafo genético del comportamiento *evaluar entorno*.

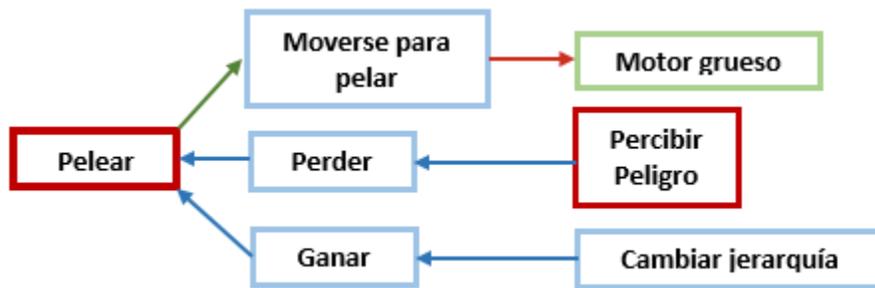


Figura 5. Grafo genético del comportamiento *pelear*.



Figura 6. Grafo genético del comportamiento *recolectar*.

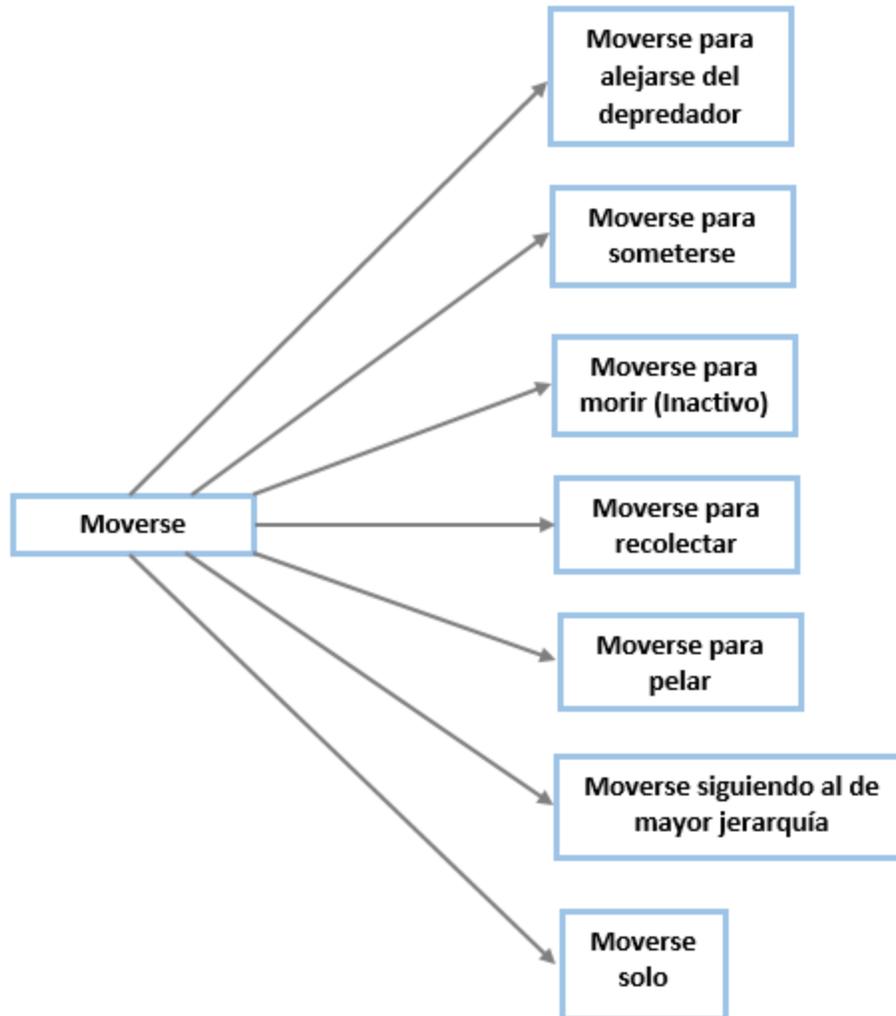


Figura 7. Grafo genético del comportamiento *moverse*.

6.3 Estructura Afectivo-Cognitiva

La Estructura Afectivo-Cognitiva o (EAC), nace de la Teoría OCC (1986). Es una estructura que muestra la relación entre agentes, objetos y entorno tomando en cuenta las emociones (ver Figura 8 tomada de [8]). Cada *animat* siente emociones como consecuencia de su interacción con el entorno y trabaja con metas. Todas las metas están asociadas a una variable que puede ser de proximidad o de deseabilidad, según sea el caso. Cumplir con las metas de nivel más bajo (caminar, moverse, percibir) permiten al *animat* desenvolverse en la sociedad donde vive y alcanzar metas de nivel más alto (Alimentarse, Explorar, Pelear) hasta llegar a alcanzar la meta máxima: el bienestar.

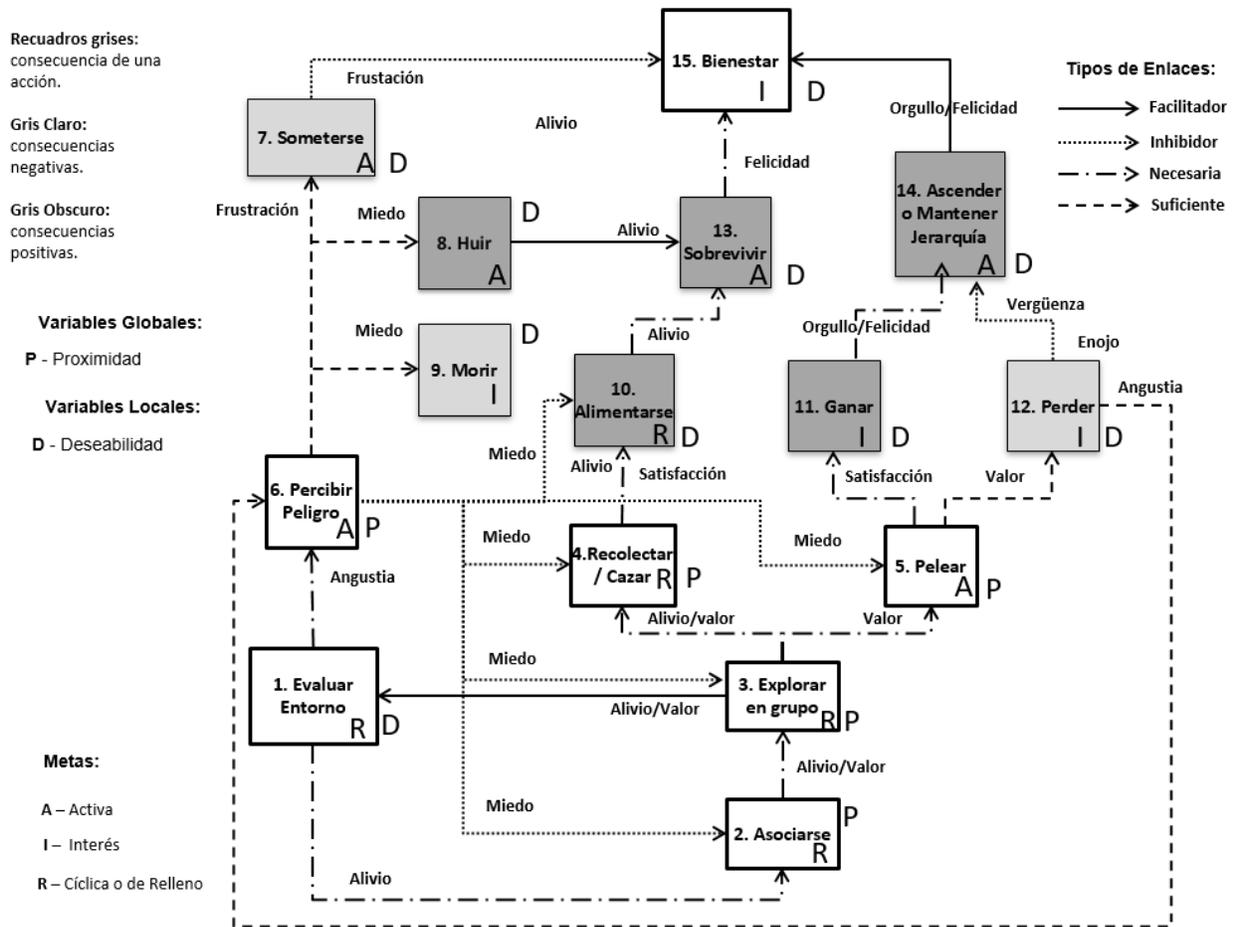


Figura 8. Estructura Afectivo-Cognitiva de un chimpancé.

Las metas que va alcanzando el *animat* pueden tener consecuencias positivas o negativas. En esta estructura, las emociones son consideradas como motivaciones para alcanzar las metas. Más información acerca del EAC del chimpancé en [8], [10], [37], [41], [42].

6.4 Matriz del mapa cognitivo difuso

En el proyecto se utilizó un mapa cognitivo difuso (MCD) como motor de inferencia para representar el conocimiento del *animat* (ver Figura 9) en este mapa podemos apreciar las distintas relaciones que tienen los elementos que le dan la vida a la conducta. Es importante ver que tenemos cinco emociones involucradas: felicidad, satisfacción, valor, orgullo, y alivio. Estas emociones se relacionan con otros elementos, de esta manera se integra la teoría OCC.

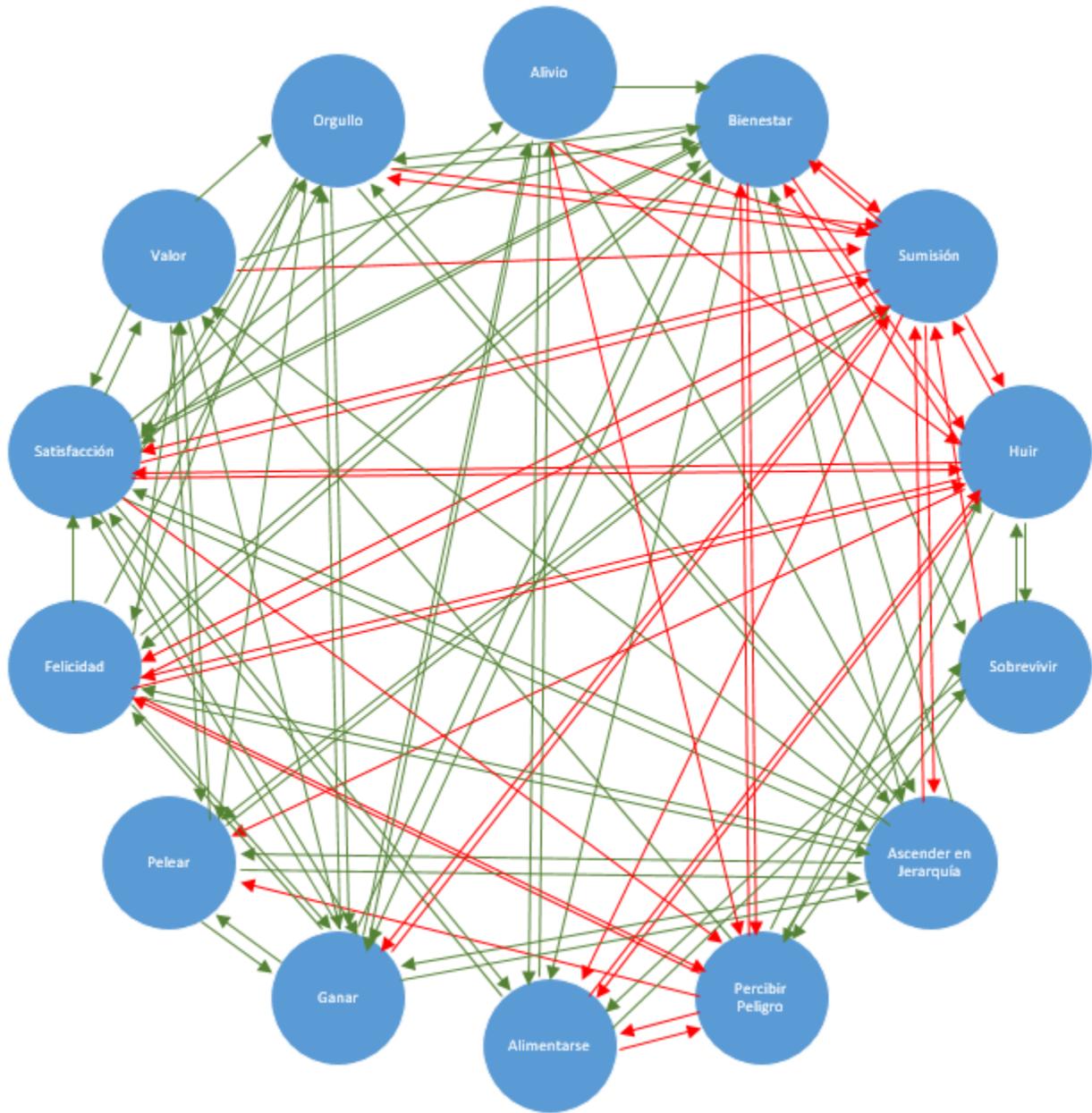


Figura 9. Mapa cognitivo difuso del *animat*. Las flechas verdes son relaciones positivas, las rojas son relaciones negativas.

Como ya se había mencionado antes, para trabajar con este tipo de representación del conocimiento, es necesario utilizar la matriz de adyacencia (ver Tabla 21). Las relaciones representadas como aristas en el MCD pasan a la matriz de la siguiente forma: positivas pasan con 1, negativas pasan con -1, neutras pasan con 0, y gradual positivo pasa con 0.5.

	Bienestar	Sumisión	Huir	Sobrevivir	Ascender en Jerarquía	Percibir Peligro	Alimentarse	Ganar	Pelear	Felicidad	Satisfacción	Valor	Orgullo	Alivio
Bienestar	0	-1	-1	1	1	-1	1	1	0	1	1	0	1	0
Sumisión	-1	0	-1	0	-1	0	-1	-1	1	-1	-1	0	-1	0
Huir	-1	-1	0	1	0	1	-1	0	-1	-1	-1	0	0	0
Sobrevivir	0	-1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
Ascender en Jerarquía	1	-1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0
Percibir Peligro	-1	0	1	1	0	0	-1	0	-1	-1	0	1	0	0
Alimentarse	0	0	-1	1	0	-1	0	0	0	0	1	0	0	1
Ganar	1	-1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1
Pelear	0	0.5	0	0	0.5	0	0	0.5	0	0	0	1	0	0
Felicidad	1	-1	-1	0	1	-1	0	1	0	0	1	1	1	0
Satisfacción	1	-1	-1	0	1	-1	1	1	0	0	0	1	1	1
Valor	1	-1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0
Orgullo	1	-1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0
Alivio	1	-1	-1	0	1	-1	1	1	0	0	1	0	0	0

Tabla 21. Matriz de adyacencia del MCD.

6.4.1 Escenarios Interpretados

La cantidad de escenarios de salida que se pueden tener es muy amplia; sin contar con que existen escenarios incoherentes, como es el caso de eventos mutuamente excluyentes (ejemplo, huir y someterse), A continuación se describe la interpretación en detalle de los más representativos. En [8] se encuentran otro tipo de escenarios que pueden enriquecer la interpretación global.

Escenario 1: *Pelear, Valor.*

Escenario de Salida:

Hay bienestar, no se somete, no huye, puede o no sobrevivir, aumenta jerarquía, no percibe peligro, se alimenta, gana, pelea, está alegre, se siente satisfecho, con valor, orgullo y alivio.

Justificación:

El *animat* está en un buen momento para pelear, por lo cual es posible que gane, y logre aumentar jerarquía. Existe la posibilidad de sentirse alegre, satisfecho con valor, orgullo y alivio, tiene bienestar.

Escenario 2: *Pelear, Sin valor.*

Escenario de Salida:

No hay bienestar, se somete, huye, puede o no sobrevivir, no aumenta jerarquía, percibe peligro, no se alimenta, pierde, no pelea, está triste, no se siente satisfecho, no tiene valor, siente vergüenza y angustia.

Justificación:

El *animat*, siente miedo, es posible que pierda, y esto va a impedir que sienta emociones positivas. Existe la posibilidad de someterse o huir; por lo tanto no tendrá bienestar.

Escenario 3: *Pelear.*

Escenario de Salida:

Hay bienestar, no se somete, no huye, puede o no sobrevivir, aumenta jerarquía, no percibe peligro, se alimenta, gana, pelea, está alegre, se siente satisfecho, tiene valor, orgullo y alivio.

Justificación:

No tiene emociones negativas, por lo tanto, existe la posibilidad de ganar, y de tener emociones positivas como: alegría, valor, orgullo y alivio. Es posible que tenga bienestar.

Escenario 4: *Alimentarse, Satisfecho, Alegre, Aliviado.*

Escenario de Salida:

Hay bienestar, no se somete, no huye, puede o no sobrevivir, aumenta jerarquía, no percibe peligro, se alimenta, gana, pelea, está alegre, se siente satisfecho, tiene valor, orgullo y alivio.

Justificación:

El *animat* está en buen momento para alimentarse y tiene emociones positivas, existe la posibilidad de que éstas continúen.

Escenario 5: *Pelear, Percibir peligro, Triste, Angustiado.*

Escenario de Salida:

No hay bienestar, se somete, huye, puede o no sobrevivir, no aumenta jerarquía, percibe peligro, no se alimenta, pierde, no pelea, está triste, no se siente satisfecho, no tiene valor, siente vergüenza y angustia.

Justificación:

El *animat* percibe peligro al momento de pelear. Es posible que deje de pelear y que huya, lo que ocasionará emociones negativas y no tendrá bienestar.

6.5 Reglas para la interacción entre *animats* y el entorno

Como en toda sociedad hay reglas, en este caso explicamos de manera detallada cuáles son las reglas que regulan los comportamientos de jerarquía de los *animats* (ver [40]).

6.5.1 *Animat*

-Los *animat* tienen una edad entre 1 y 60 años al momento de iniciar la simulación

-Los *animat* pueden tener personalidad *rebelde* o *sumisa*

-Los *animat* tienen hambre y energía, cuando su nivel hambre sobrepasa cierto límite establecido buscará comer, cuando el nivel energía baje hasta cierto límite establecido, descansará y dejará de moverse.

- Cada *animat* nace con cierta fortaleza que le permitirá imponerse sobre otros *animat* al momento de pelear.
- Cada *animat* nace con cierta velocidad que le permitirá moverse más rápido que otros *animats*.
- Al iniciar la simulación ningún *animat* formará parte de una manada o grupo para buscar comida.
- Cada *animat* tendrá una jerarquía: *Alfa*, *Beta*, *Gamma*. Siendo la primera la mayor y la última la menor.
- Los *animats* pueden subir de jerarquía y en algunos casos bajar: 1) perder una pelea, y 2) someterse.
- Se considera que el *animat* está en edad madura cuando tiene 30 años.

6.5.2 Manada

- Toda manada tiene un líder, cuya jerarquía es *Alfa*. No puede haber más de un *Alfa* en una manada.
- Una manada se forma cuando dos *animats* buscan asociarse; para lo cual existen tres opciones:
 - a) Los dos *animats* son *Alfa*. En este caso la manada no puede formarse y ambos siguen su camino.
 - b) Hay un *animat Alfa*, y uno *Beta* o *Gamma*. En este caso, el *Alfa* se convierte en líder de la manada.
 - c) Ninguno de los dos *animats* es *Alfa*. Si los dos *animats* tienen el mismo rango, pelean y el ganador sube de rango a *Alfa* y se convierte en líder. Si hay un *animat* de jerarquía mayor, éste se convierte en *Alfa* y líder.
- Cada manada tiene un número aleatorio de espacios para *Betas*. Ese número está entre 2 y 5 espacios.
- Los *animats* de una manada pueden pelear para subir de jerarquía pero sólo un rango a la vez.
- Un *animat Alfa* no podrá unirse a una manada, forzosamente debe formar una.
- Un *animat Beta* podrá unirse a una manada si el número de espacios para *Betas* es mayor al número de *Betas* que hay en la manada en ese momento.
- Un *animat Gamma* siempre podrá unirse a una manada.
- Los *animats* de una manada van a moverse siguiendo a su líder, excepto en algunas situaciones descritas más adelante.
- El líder de una manada va a moverse de forma independiente.
- Si un *Gamma* pelea contra un *Beta* y gana, se abrirá un nuevo espacio disponible para *Betas* que ocupará el *Gamma* ganador al subir de jerarquía, si el *Beta* gana, no habrá cambios.
- Si un *Beta* pelea contra un *Alfa* y gana, el *Beta* sube de jerarquía y se convierte en el líder de la manada, el *Alfa* perdedor se someterá si es sumiso o morirá si es rebelde.
- Si un *animat* muere a causa de un depredador, y es *Beta* se dejará disponible un lugar para otro *Beta*, en caso de ser el líder, el *animat* de mayor jerarquía y más fuerte se convierte en líder.

6.5.3 Grupo

- La misión de los grupos es buscar comida
- Para formar un grupo es necesario que los miembros sean de la misma manada
- Todo grupo tiene un líder, puede ser de cualquier jerarquía pero tiene que ser el de más alta jerarquía entre los miembros. En caso de dos *animats* con la misma jerarquía, el líder será el más fuerte.
- Un grupo se forma cuando dos *animats* buscan alimentarse.
- Cualquier *animat* de la manada puede unirse al grupo.
- Si el *animat* que se une al grupo es de mayor jerarquía que el líder, o de la misma jerarquía pero más fuerte, éste se convertirá en el líder.
- Los *animats* de un grupo van a moverse siguiendo a su líder.
- El líder de un grupo va a moverse de manera independiente.
- Si el líder muere, el siguiente *animat* en jerarquía o capacidad de fuerza se convierte en líder.
- Si un *animat* del grupo ve comida, entonces el grupo lo sigue a él.
- Al encontrar comida todos los miembros del grupo se ven beneficiados.
- Cuando un *animat* deja de tener hambre, o huye, sale del grupo.

6.5.4 Comida

- La comida aparece de manera aleatoria, en tiempo y espacio, dentro del entorno
- La cantidad de energía que brinda una comida depende de su tamaño

6.5.5 Depredadores

- Los depredadores aparecen en puntos determinados en el entorno
- Los depredadores mueren al hacer contacto con el fin del terreno
- Los depredadores perseguirán siempre al último *animat* que esté en su campo de visión
- Si un *animat* es tocado por un depredador, morirá

6.6 Implementación

6.6.1 Unity 5

La simulación se realizó con la herramienta Unity 5 y se programó en el lenguaje de alto nivel C#. Esta herramienta, originalmente utilizada para desarrollar videojuegos se convirtió en un referente para proyectos con requerimientos de concurrencia y de interfaz gráfica por su fácil uso. Algunos ejemplos de proyectos hechos en Unity se pueden encontrar en [43] y [44] (ver Figura 10).

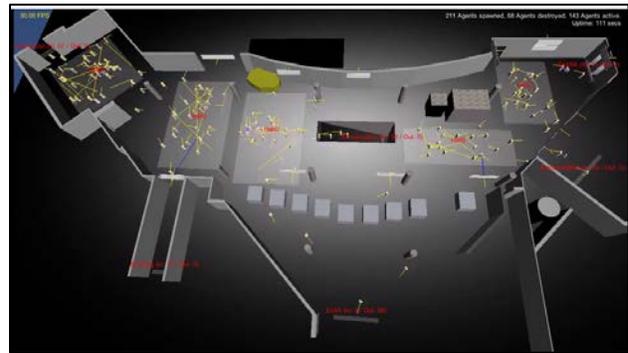
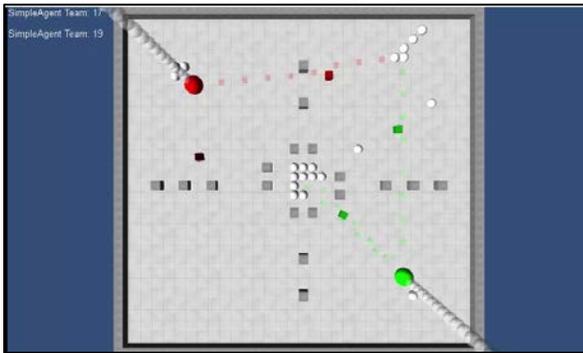


Figura 10. Proyectos MAS realizados en Unity. Izquierda: Mars Explorer multi-agent simulation in Unity; Derecha: Multi-Agent System with Unity3d for airport passenger simulation.

6.6.2 Diagrama de Clases

La clase *animat* fue programada utilizando el paradigma de la arquitectura Modelo-Vista-Controlador (MVC) [45]. La vista fue la interfaz del programa y los eventos que pasan al controlador son disparados por los mismos objetos (*animats*, depredadores, y comida). En los controladores se ven reflejados los modelos mentales presentados previamente. A continuación se presenta una parte del diagrama de clases donde se visualiza lo expresado (Figura 11). El diagrama completo se encuentra en la sección de apéndices.

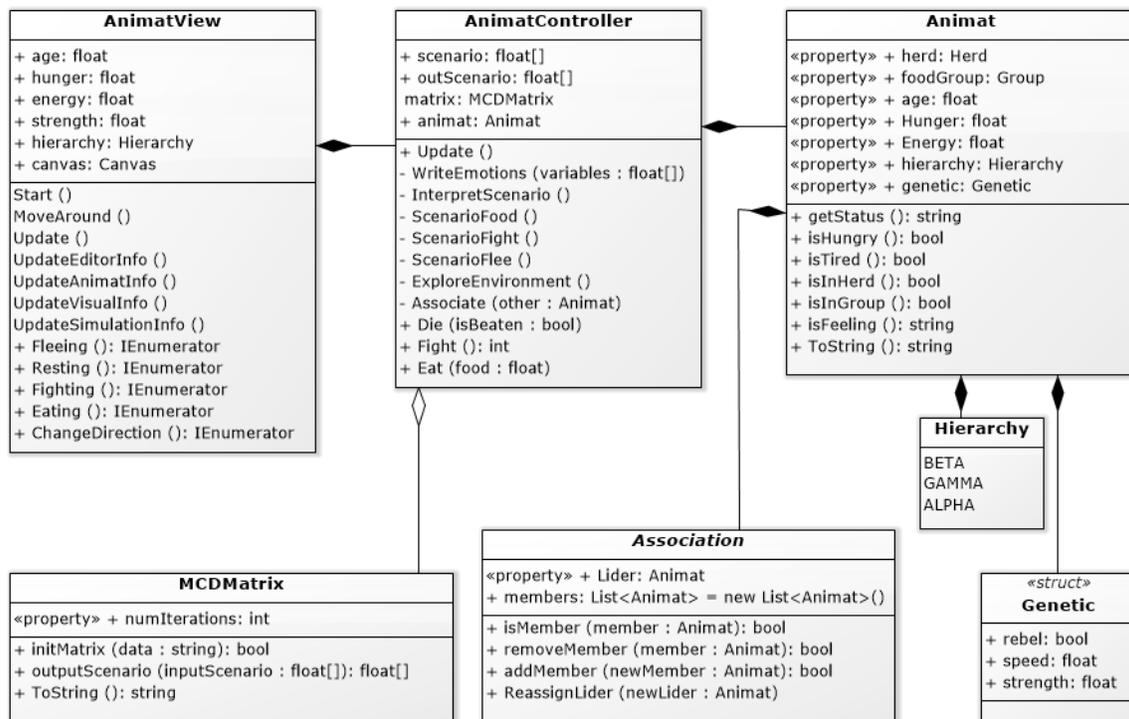


Figura 11. Diagrama de clases.

Para poder utilizar los MCD se hizo una adaptación de un recurso escrito en C [46] a C#. Ese recurso llamado “Programa de Evaluación de Mapas Cognitivos Difusos” contiene el algoritmo para poder calcular los posibles escenarios de salida para los *animats*; y el cual representa el motor de inferencia de éstos. Su funcionamiento quedó guardado en el método *outputScenario()* de la clase *MCDMatrix*.

6.7 Interfaz Gráfica para el programa

El entorno en donde se desarrolla la simulación es un espacio rectangular (ver Figura 12). Los *animats* aparecen de manera aleatoria al inicio de la simulación y estos no pueden salir del entorno. El entorno presenta elementos que no interactúan de manera directa con los *animats*, depredadores, o comida, como lo son las rocas, los arbustos, y los troncos.

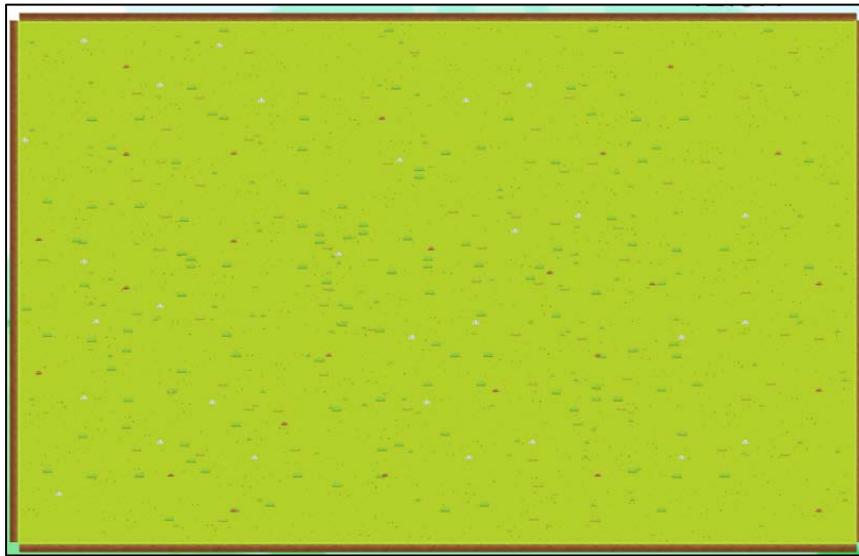


Figura 12. Entorno donde se desarrolla la simulación.

Cada *animat* tiene un cuadro de diálogo encima de su cabeza (Figura 13) el cual contiene información del estado actual del mismo y puede aparecer o desaparecer con un solo *click*. La información que se presenta es:

- Estado: Indica cuál es la actividad que está realizando el *animat*
- Edad
- Jerarquía
- Hambre
- Energía
- Velocidad
- Fuerza
- Bandera que indica si el *animat* es o no rebelde
- Se indica el estado de las emociones: positivo, negativo o neutral
- Bandera que indica si el *animat* es parte de una manada
- Bandera que indica si el *animat* es parte de un grupo para buscar comida

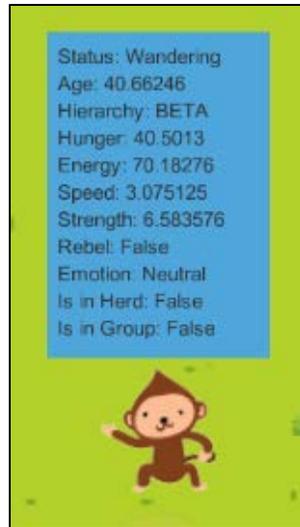


Figura 13. Cuadro del estado del animat.

Cerca de la esquina superior derecha se encuentra un reloj que muestra la hora del día en el entorno a simular (ver Figura 14). La velocidad con la que avanza el reloj se puede modificar desde el *script*. Para la simulación se utilizó una velocidad de x72, para completar un día de simulación en aproximadamente 20 minutos.



Figura 14. Reloj de la simulación.

De lado derecho se encuentra un breve menú con las siguientes opciones (ver Figura 15):

- a) *Play*: Pausa / Reproducir la simulación
- b) *Move Camera*: Permite mover la camera con el mouse
- c) *Simulation speed*: Permite ajustar la velocidad de la simulación (desde 0.1x hasta 2x)
- d) *Add animat*: Permite añadir a un nuevo animat en el centro del entorno
- e) *Reset simulation*: Permite reiniciar la simulación

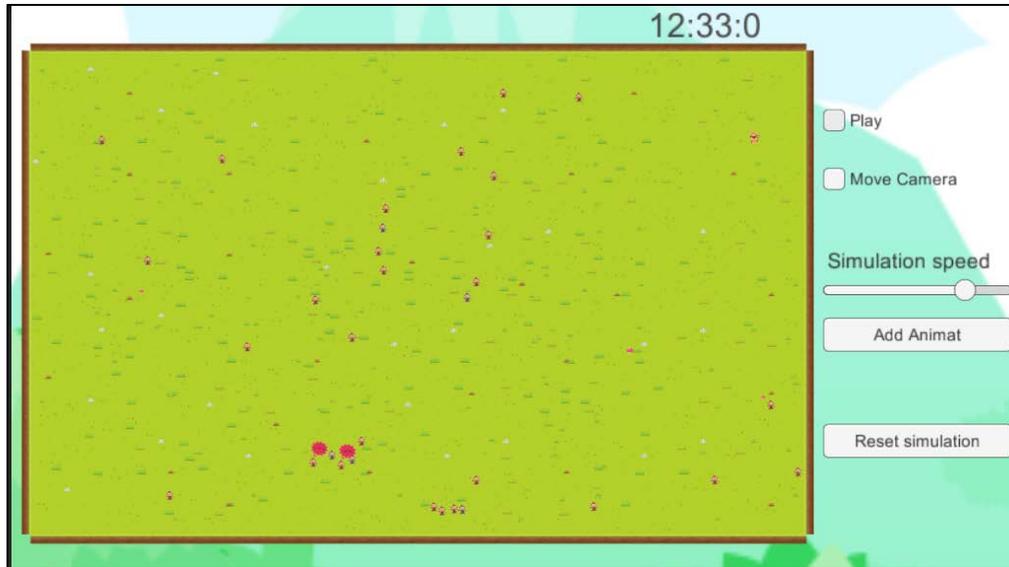


Figura 15. Interfaz visual de la simulación. De lado derecho se observa el menú.

7. Resultados

Después de adaptar los modelos mentales presentados en la sección 6.1.1 Animats para un solo *animat*. Se logró realizar con éxito la simulación de un entorno con 20 *animats* a lo largo de un día. En esta simulación fue posible observar cómo desde un inicio se asocian en grupos y manadas para lograr su objetivo principal: el bienestar. A continuación se muestran unas Figuras (Figura 16 - Figura 23) de los distintos comportamientos observados:

- 1) Formación de una nueva manada. Un *Animat Alfa* (Gris) y un *Gamma* (Café) se unen para formar una nueva manada.

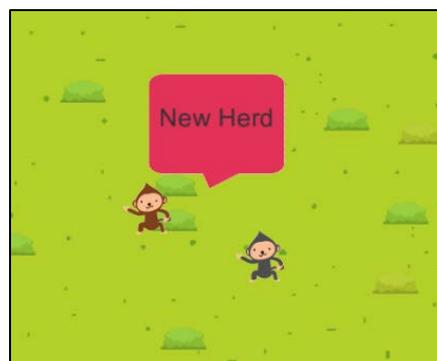


Figura 16. Formación de una nueva manada.

- 2) Formación de un nuevo grupo. Un *animat Beta* (Rojo) y *Gamma* (Café) se asocian para buscar comida.



Figura 17. Formación de un grupo para buscar comida.

- 3) Búsqueda de comida. Un grupo de *animats* buscando comida. Están siguiendo al líder (Gris).



Figura 18. Grupo de *animats* buscando comida.

4) Comiendo.



Figura 19. Un grupo de animats comiendo.

5) Peleando. Un *animat Alfa* (Gris) peleando con un *animat Beta* (Rojo).



Figura 20. Animat Alfa y Animat Beta peleando.

6) Ganar / Perder. Un *animat Alfa* después de ganar una pelea.

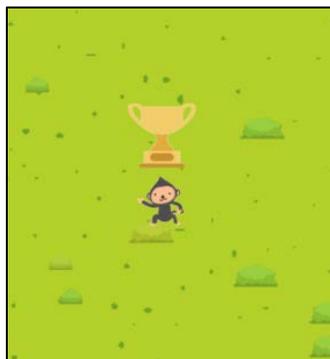


Figura 21. Animat Alfa después de ganar una pelea.

7) Durmiendo.



Figura 22. Animat Alfa durmiendo.

8) Huyendo de un depredador. Un grupo de *animats* huye de un depredador. El único *animat* que lo vio fue el *Beta* (rojo) más cercano. Al verlo huye y avisa a los demás *animats* que están cerca.



Figura 23. Un grupo de *animats* huyendo de un depredador.

8. Conclusiones

La simulación es una herramienta poderosa que nos permite obtener resultados sumamente apegados a la realidad, sin los inconvenientes que la experimentación práctica implica; las simulaciones de vuelo, por ejemplo, resultan más baratas y mucho menos riesgosas que realizar las primeras horas de vuelo en un avión real.

La simulación realizada en la presente investigación representa un esfuerzo dirigido a abonar en el estudio de la consciencia artificial, así como de la psicología y etología cognitiva. La habilidad de visualizar los comportamientos de un animal en un ambiente controlado y dinámico resulta sumamente útil para hacer predicciones acerca de su comportamiento. Los resultados obtenidos en este tipo de simulaciones son precisos y fiables, pues toman en cuenta a las distintas motivaciones internas (personalidad, emociones), así como otros factores fisiológicos (fortaleza, tamaño, entre otros), en un área de investigación relativamente nueva.

Este tipo de herramientas pueden tener una aplicación inmediata para el trabajo con animales en peligro de extinción: utilizando simulaciones podemos analizar sus comportamientos, sus formas de interacción social y su relación con el entorno; lo cual, junto con la etología cognitiva, nos permitirá establecer mejores medidas de protección y reinserción en la vida silvestre.

9. Referencias Bibliográficas

- [1] S. Russell, P. Norvig and R. Bautista Gutiérrez, *Inteligencia artificial*. México: Prentice Hall Hispanoamericana, 1996.
- [2] R. Sun, "Artificial intelligence: Connectionist and symbolic approaches.", in *International Encyclopedia of the Social and Behavioral Sciences*, 1st ed., N. Smelser and P. Baltes, Ed. Oxford: Pergamon/Elsevier, 2001, pp. 783-789.
- [3] A. Newell and H. Simon, "Computer science as empirical inquiry: symbols and search", *Communications of the ACM*, vol. 19, no. 3, pp. 113-126, 1976.
- [4] S. Franklin and A. Graesser, "Is it an Agent, or just a Program?: A Taxonomy for Autonomus Agents", Springer-Verlag, 1996.
- [5] M. Wooldridge, *Multi-agent systems*. Chichester: Wiley, 2002.
- [6] A. Ortony, G. Clore and A. Collins, *La estructura cognitiva de las emociones*. Madrid: Siglo Veintiuno Editores, 1996.
- [7] S. Wilson, "Knowledge growth in an artificial animal", Pittsburgh, PA, 1985.
- [8] A. Laureano-Cruces, J. Ramírez-Rodríguez, M. Mora-Torres and L. Sánchez-Guerrero, "Artificial Self Awareness for Emergent Behaviour", *Frontiers in Psychological and Behavioural Science*, vol. 5, no. 1, pp. 1-15, 2016.
- [9] A. Laureano-Cruces, T. Ramírez-González, L. Sánchez-Guerrero and J. Ramírez-Rodríguez, "Multi-Agent System for Real Time Planning Using Collaborative Agents", *International Journal of Intelligence Science*, vol. 04, no. 04, pp. 91-103, 2014.
- [10] M. Mora-Torres, A. Laureano-Cruces, F. Gamboa-Rodríguez, J. Ramírez-Rodríguez and L. Sánchez-Guerrero, "An Affective-Motivational Interface for a Pedagogical Agent", *International Journal of Intelligence Science*, vol. 04, no. 01, pp. 17-23, 2014.
- [11] A. Laureano-Cruces and E. Hegmann-Gonzalez, "A Maze Videogame that Adapts to the User's Emotions According to his Behavior", *Journal Artificial Intelligence Machine Learning / International Congress for Global Science and Technology (ICGST)*, vol. 11, no. 2, pp. 21-25, 2011.
- [12] J. O. Avila Romero, "Simulación de tránsito vehicular dentro de una glorieta usando autómatas celulares" proyecto terminal, División de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, México, 2009.
- [13] C. E. Campos Sandoval, "Autonomía para un robot excavador lunar" proyecto terminal, División de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, México, 2013.

- [14] O. Muñoz Texzocotetla, "Clasificación de las emociones en el habla en español" proyecto terminal, División de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa, México, 2007.
- [15] C. Becker-Asano, F. Ruzzoli, C. Hölscher and B. Nebel, "A multi-agent system based on Unity 4 for virtual perception and wayfinding", *Transportation Research Procedia* 2, pp. 452-455, 2014.
- [16] Unity3d.com, "Unity - Game engine, tools and multiplatform", 2016. [Online]. Available: <http://unity3d.com/es/unity>. [Accessed: 19- Feb- 2016].
- [17] A. Laureano-Cruces and D. Verdugo-Palencia, "Simulación de un juego de futbol utilizando una arquitectura Multiagente-Reactiva" en *Desarrollo Tecnológico. XXIII Congreso Nacional y XI Congreso Internacional de Informática y Computación de la ANIEI*. Alfa-Omega, 2011, pp. 485-493.
- [18] MASON Multiagent Simulation Toolkit, "MASON". [Online]. Available: <http://cs.gmu.edu/~eclab/projects/mason/>. [Accessed: 23- Feb- 2016].
- [19] R. Brooks, "Intelligence without representation", *Artificial Intelligence*, vol. 47, no. 1-3, pp. 139-159, 1991.
- [20] R. Brooks, "Elephants don't play chess", *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 6, no. 1-2, pp. 3-15, 1990.
- [21] "Behind Deep Blue: building the computer that defeated the world chess champion", *Choice Reviews Online*, vol. 40, no. 07, pp. 40-4053-40-4053, 2003.
- [22] W. Swartout, "Rule-based expert systems: The mycin experiments of the stanford heuristic programming project", *Artificial Intelligence*, vol. 26, no. 3, pp. 364-366, 1985.
- [23] J. Ferber, *Multi-Agent System: An Introduction to Distributed Artificial Intelligence*. Manchester: Harlow: Addison Wesley Longman, 1999.
- [24] R. Sun, *Cognition and Multi-Agent Interaction: From Cognitive Modeling to Social Simulation*. Nueva York: Ron Sun, Rensselaer Polytechnic Institute, 2008.
- [25] P. MAES, "How to do the Right Thing", *Connection Science*, vol. 1, no. 3, pp. 291-323, 1989.
- [26] S. Lourdes, L. Lilia, M. Martha, R. Javier and S. Blanca, "A Multi-Agent Intelligent Learning System: An Application with a Pedagogical Agent and Learning Objects", *Creative Education*, vol. 04, no. 07, pp. 181-190, 2013.
- [27] A. Laureano-Cruces and A. Barceló-Aspeitia, "Formal verification of multi-agent systems behaviour emerging from cognitive task analysis", *Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence*, vol. 15, no. 4, pp. 407-431, 2003.
- [28] E. Márquez, J. Savage, C. Lemaitre, A. Laureano-Cruces, J. Berumen, A. Espinosa, R. Leder and A. Weitzenfeld, "A Decision Support System Based on Multi-Agent Technology for Gene Expression

Analysis", *International Journal of Intelligence Science, Scientific Research*, vol. 5, no. 3, pp. 158-172, 2015.

[29] B. Kosko, "Fuzzy cognitive maps", *International Journal of Man-Machine Studies*, vol. 24, no. 1, pp. 65-75, 1986.

[30] M. Mora-Torres, "Sistema Experto en la Toma de Decisiones de un Escenario de Riesgo: LOCA Pequeño en una Planta Nucleoeléctrica," MSc. Degree Thesis, Posgrado en Ciencia e Ingeniería de la Computación-UNAM. Retrieved from: <http://bibliotecacentral.unam.mx/tesis.html>, 2007.

[31] M. Mora-Torres, A. Laureano-Cruces, L. Sánchez-Guerrero and J. Ramírez-Rodríguez, "Parallel and Distributed Decision Making Processes: Inference Engine", *Journal of Pattern Recognition and Intelligent Systems*, vol. 3, pp. 36-54, 2015.

[32] G. Buttazzo, "Artificial consciousness: Utopia or real possibility?", *Computer*, vol. 34, no. 7, pp. 24-30, 2001.

[33] A. Laureano-Cruces, D. Acevedo-Moreno, M. Mora-Torres, and J. Ramírez-Rodríguez, "A Reactive Behavior Agent: including emotions for a video game," *Journal of Applied Research and Technology*, vol. 10, no. 5, pp. 51-672, 2012.

[34] A. Laureano-Cruces, M. Mora-Torres, J. Ramírez-Rodríguez, and F. Gamboa-Rodríguez, "Implementation of an affective-motivational architecture tied to a teaching-learning process," in *Proceedings de E-Learn 2010 World Conference on E-Learning in Corporate Government, Healthcare, & Higher Education*, pp. 1930-1938, ISBN: 1-880094-53-5, Orlando, Florida, October 18-22, 2010.

[35] A. Laureano-Cruces and A. Rodriguez-Garcia, "Design and implementation of an educational virtual pet using the OCC theory", *J Ambient Intell Human Comput*, vol. 3, no. 1, pp. 61-71, 2011.

[36] A. Laureano-Cruces, F. De Arriaga-Gómez and M. Sánchez, "Cognitive task analysis: a proposal to model reactive behaviours", *Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence*, vol. 13, no. 3, pp. 227-239, 2001.

[37] A. L. Laureano-Cruces, C. Guadarrama-Ponce, M. Mora-Torres, and J. Ramírez-Rodríguez, "A Cognitive Model for the Red Baron: a Perspective Taking into Account Emotions," *ICGST-Artificial Intelligence Machine Learning Journal*, vol. 11, iss. 2, pp. 5-13, ISSN: 1687-4846 Print, ISSN: 1687-4854 Online, 2011.

[38] I. Goldstein, "The genetic graph: a representation for the evolution of procedural knowledge", *International Journal of Man-Machine Studies*, vol. 11, no. 1, pp. 51-77, 1979.

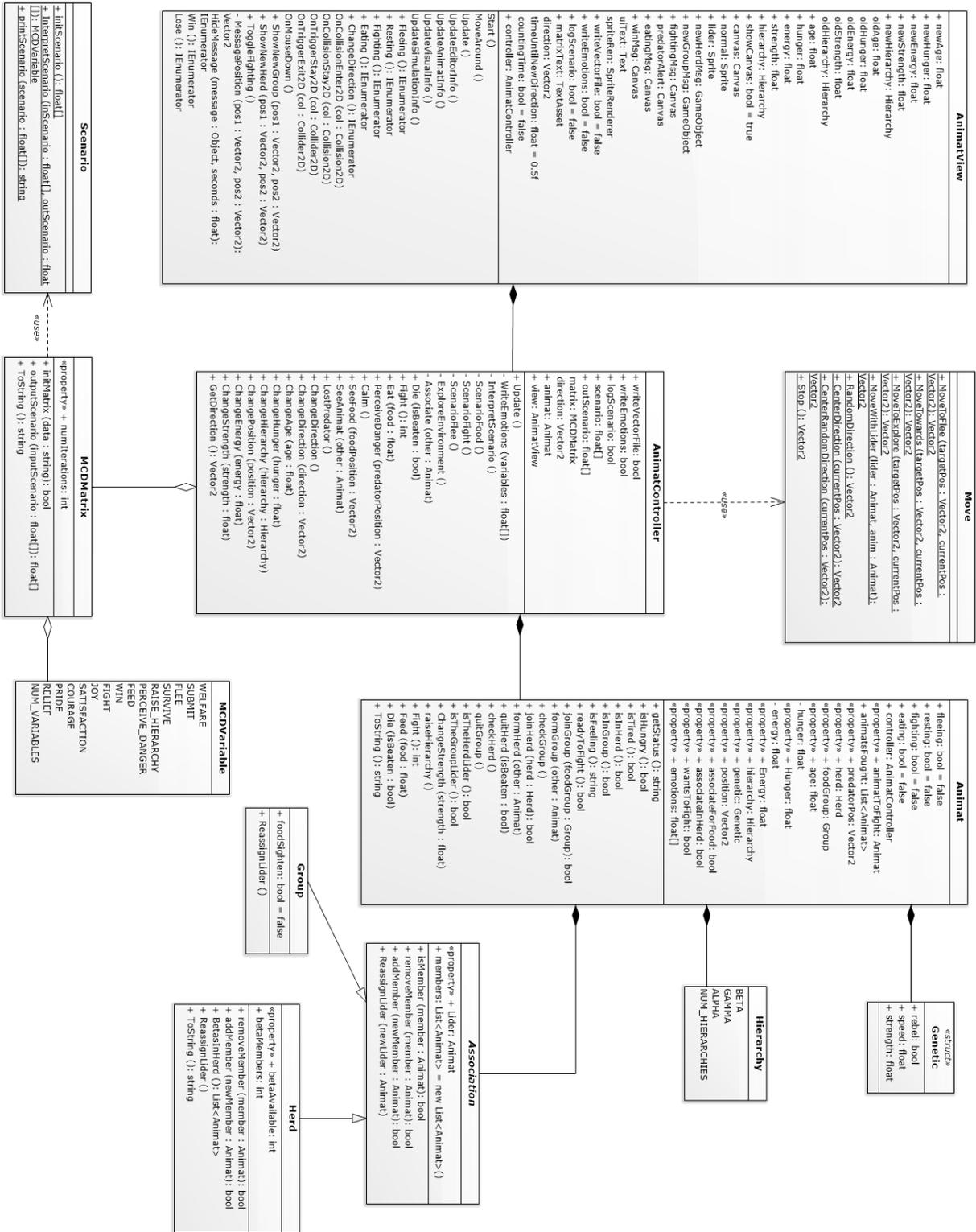
[39] Ana Lilia Laureano Cruces, Fernando, "REACTIVE AGENT DESIGN FOR INTELLIGENT TUTORING SYSTEMS", *Cybernetics and Systems*, vol. 31, no. 1, pp. 1-47, 2000.

[40] A. Laureano-Cruces, J. Ramírez-Rodríguez, F. de Arriaga and R. Escarela-Pérez, "Agents control in intelligent learning systems: The case of reactive characteristics", *Interactive Learning Environments*, vol. 14, no. 2, pp. 95-118, 2006.

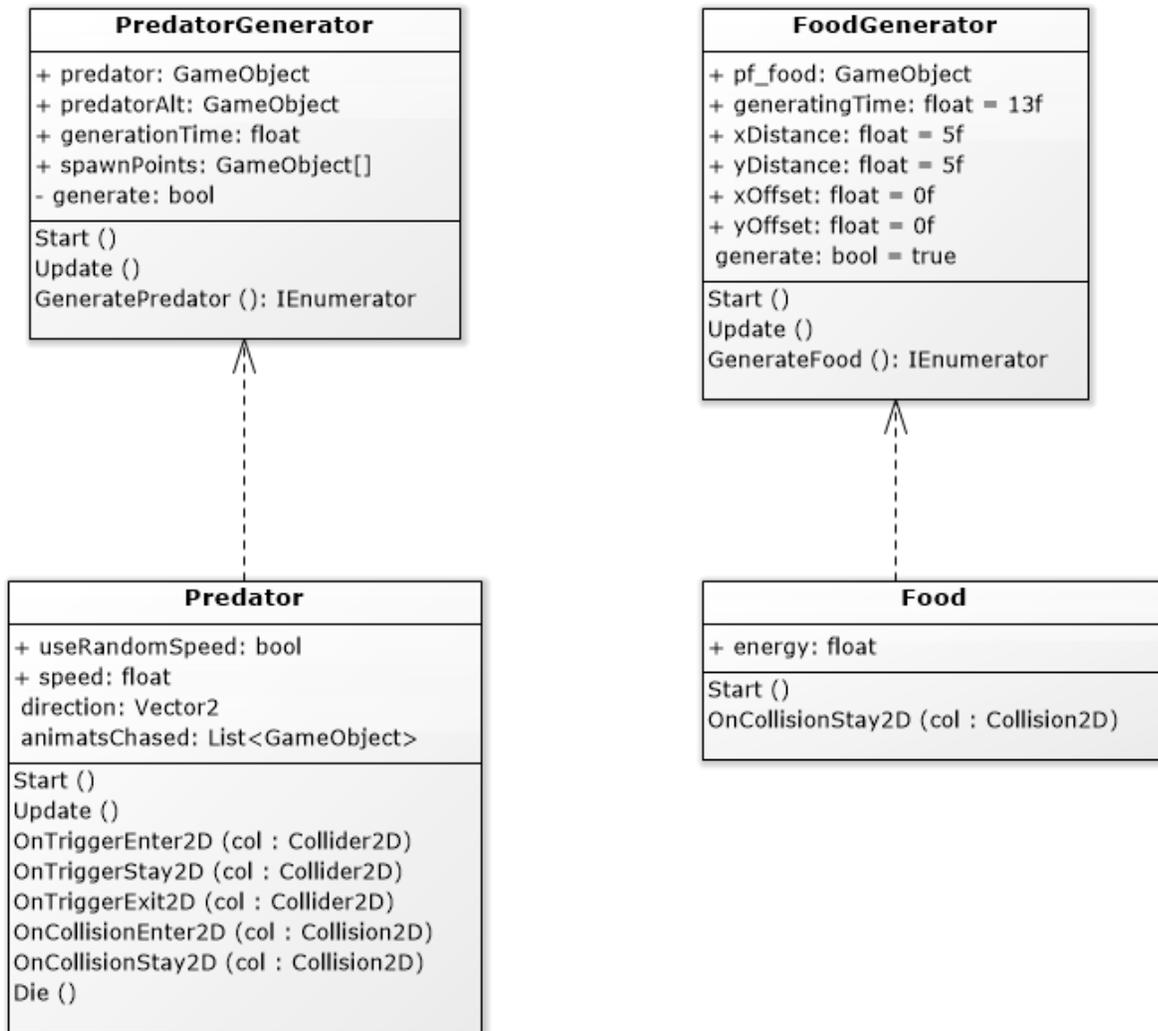
- [41] A. Laureano Cruces, D. Hernández-González, M. Mora-Torres and J. Ramírez Rodríguez, "Aplicación de un modelo cognitivo de valoración emotiva a la función de evaluación de tableros de un programa que juega ajedrez", *Revista de Matemática: Teoría y Aplicaciones*, vol. 19, no. 2, p. 211, 2012.
- [42] A. Laureano-Cruces, M. Mora-Torres, J. Ramírez-Rodríguez, L. Sánchez-Guerrero and F. Gamboa-Rodríguez, "Assessment of Emotions in an Affective-Motivational Cognitive Model with Fuzzy Cognitive Map", *Proceedings of E-Learn 2014 World Conference on E-Learning in Corporate Government, Healthcare & Higher Education*, pp. 1110-1115, 2014.
- [43] Mars Explorer multi-agent simulation in Unity. 2012.
- [44] C. Becker-Asano, Multi-Agent System with Unity3D for airport passenger simulation. 2013.
- [45] F. Buschmann, *Pattern-oriented software architecture*. Chichester: Wiley, 1996.
- [46] M. Mora Torres, D. Hernández González, A. Laureano Cruces and J. Ramírez Rodríguez, *Programa de Evaluación de Mapas Cognitivos Difusos*. D.F., México.

10. Apéndices

10.1 Diagrama de clases.



Apéndice 1. Diagrama de clases MVC del animat.



Apéndice 2. Diagrama de clases del depredador y comida.