

Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco

División de Ciencias Básicas e Ingeniería

Licenciatura en Ingeniería en Computación

Proyecto de Investigación

Simulación del comportamiento de un piloto en combate: un Agente Cognitivo

Trimestre 2017 Primavera

Alumno:

Roberto Cárdenas Galicia

Matrícula: 205361403

wolfralack@gmail.com



---

Firma

Asesora:

Dra. Ana Lilia Laureano Cruces

Profesor Titular "C"

Doctora en Ciencias

Departamento de Sistemas

[clc@azc.uam.mx](mailto:clc@azc.uam.mx)



---

Firma

Fecha de entrega: 31 de Agosto de 2017.

Yo, Ana Lilia Laureano Cruces, declaro que apruebo 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.



---

Asesora: Dra. Ana Lilia Laureano Cruces

Yo, Roberto Cárdenas Galicia, 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.



---

Alumno: Roberto Cárdenas Galicia

## Resumen

El presente trabajo de investigación realiza un análisis exhaustivo del comportamiento de un *\*agente cognitivo*: El Barón Rojo (ACBR, por la abreviación de: Agente Cognitivo Barón Rojo), que enfrenta una situación de combate en un entorno virtual llamado “*\*\*hábitat-sintético*” y sobre del cual opera un factor emocional que afecta su proceso de toma de decisiones, dicho trabajo tiene sus fundamentos en el artículo escrito por Laureano et al. [1]: “A cognitive model for the Red Baron: a perspective taking into account emotions”; Este artículo realiza un estudio de las emociones que entran en juego cuando un piloto está en un entorno de combate, basado en la teoría OCC que recrea en una estructura cognitiva las emociones, basada en la Teoría de Ortony, Clore and Collins [2].

El desarrollo del presente proyecto se divide en 5 fases:

1. Análisis de la conducta de Manfred Von Richthofen, el Barón rojo.
2. Modelo mental y estructura afectivo-cognitiva.
3. Generación del mapa cognitivo difuso.
4. Descripción del hábitat-sintético y descripción gráfica de comportamientos.
5. Diseño, codificación e implementación del software de simulación (*hábitat-sintético*).

Dentro de estas fases se detallan los componentes, procedimientos, eventos y algoritmos necesarios para la simulación del ACBR en combate.

---

\*agente Cognitivo: Agente que mantiene un cierto nivel de inteligencia y es capaz de tomar decisiones en base a su programación.

\*\*hábitat-sintético: Entorno virtual en donde se recrea una simulación del combate aéreo del Barón Rojo. Detallado en la sección: 6.8.

## Índice de Tablas

Tabla 1.- Agentes, Eventos y Objetos de la Teoría OCC.....	10
Tabla 2.- Análisis cognitivo de tareas.....	16
Tabla 3.- Análisis cognitivo de sub-tareas.....	17
Tabla 4.- Matriz de Adyacencia del ACBR.....	19
Tabla 5.- Primer Escenario Hipotético.....	21
Tabla 6.- Segundo Escenario Hipotético.....	22
Tabla 7.- Tercer Escenario Hipotético.....	23

## Índice de Figuras

Figura 1.- Ejemplo de un Mapa Cognitivo Difuso.....	11
Figura 2.- Manfred Albrecht Freiherr von Richthofen, mejor conocido como “El Barón Rojo”.....	11
Figura 3.- Modelo mental general del Barón Rojo en un escenario de combate.....	14
Figura 4.- Modelo mental: Seleccionar enemigo.....	14
Figura 5.- Modelo mental: Atacar enemigo sin armas.....	14
Figura 6.- Modelo mental: Evadir enemigo.....	15
Figura 7.- Modelo mental: Atacar Enemigo.....	15
Figura 8.- Macro-estructura cognitiva del ACBR.....	18
Figura 9.- Grafo Afectivo-Cognitivo del ACBR.....	20
Figura 10.- Diagrama de Clases del combate del ACBR.....	26
Figura 11.- Diagrama de manejo de eventos.....	27
Figura 12.- Diagrama conceptual del ACBR en combate.....	27
Figura 13.- Interfaz Gráfica del Hábitat Sintético del ACBR.....	28
Figura 14.- ACBR, Caza Albatros D III.....	29
Figura 15.- Dibujo de Manfred Von Richthofen, El Barón Rojo.....	29
Figura 16.- Enemigo Francés, Caza SPAD.....	29
Figura 17.- Enemigo británico, Biplano Anti-Zeppelin.....	30
Figura 18.- Disparo (Aquí muestra un aumento en su tamaño por fines de visibilidad).....	30
Figura 19.- Explosión de un avión.....	30
Figura 20.- Clima Bueno, Hábitat sintético.....	30
Figura 21.- Clima Malo, Hábitat sintético.....	32
Figura 22.- Botón Pausa, Hábitat sintético.....	32
Figura 23.- Botón Terminar, Hábitat sintético.....	32
Figura 24.- Indicadores generales del Hábitat Sintético.....	33
Figura 25.- Indicadores de emociones del ACBR. ....	33
Figura 26.- Escenario (1) de entrada del Hábitat sintético del ACBR. ....	34
Figura 27.- Escenario (1) de salida del Hábitat sintético del ACBR. ....	35

## Tabla de Contenido

1	Introducción.....	1
2	Antecedentes .....	1
3	Justificación.....	3
4	Objetivos .....	3
5	Marco teórico .....	4
6	Desarrollo del proyecto .....	6
	6.1 Análisis de la conducta .....	6
	6.2 Modelo Mental general Descripción del Hábitat-sintético .....	8
	6.3 Modelos mentales complementarios .....	9
	6.4 Análisis cognitivo de tareas .....	10
	6.5 Macro-estructura de objetivos del ACBR .....	12
	6.6 Motor de Inferencia: Matriz causal .....	14
	6.7 Prueba de tres Escenarios Hipotéticos .....	16
	6.8 Descripción del Hábitat Sintético .....	19
	6.9 Implementación .....	20
	6.10 Interfaz Gráfica .....	23
7	Resultados .....	27
8	Conclusiones .....	29
9	Referencias bibliográficas .....	30
10	Apéndices .....	32
	10.1 Simple Direct Media Layer (SDL); ejemplo de una aplicación.....	32

## 1 Introducción

La *Computación Afectiva* [3], es un *rompecabezas* que empieza a tomar encanto entre la comunidad de investigadores contemporáneos, su principal interés radica en resolver un interesante planteamiento: ¿Cómo influyen las emociones en el proceso de toma de decisiones?, esta perspectiva traerá consigo la solución a otra pregunta fundamental que secretamente la acompaña: ¿por qué tenemos emociones?; en la presente investigación compartimos la afición por los citados *rompecabezas* utilizando una estructura cognitiva para las emociones presentada por Ortony, Clore and Collins [2], llamada teoría OCC por las iniciales de los apellidos de sus autores, esta teoría propone que la toma de decisiones se ve afectada a través de perspectivas diferentes: a) las metas y los acontecimientos, b) los agentes y sus acciones, y c) los objetos y su capacidad de atracción. Tal teoría es aplicada al caso de estudio de un piloto en combate, El Barón Rojo, presentado en un artículo escrito por Laureano et al. [1]: “A cognitive model for the Red Baron: a perspective taking into account emotions”; este artículo resume las emociones que entran en juego cuando un piloto está en un entorno de combate. Con lo anterior en mente, nuestro objetivo principal en este estudio es virtualizar la conducta del piloto, mediante la creación de un software de simulación utilizando los mapas cognitivos difusos como motor de inferencia, y representar su comportamiento. En este caso las emociones en juego afectan el proceso de toma de decisiones, con la intención/finalidad de interpretar su comportamiento reactivo y de esta manera aportar conocimientos que ayuden a clarificar la mencionada cuestión.

## 2 Antecedentes

Existe un amplio desarrollo en el campo de la computación afectiva; haremos un compendio a modo de lista de los principales trabajos que preceden al presente proyecto terminal para explicar las características comunes entre ambos.

### 2.1 Tesis:

- *Influencia de las emociones en el proceso de toma de decisiones* [4]. **Tesis de maestría 2011**. Este trabajo consiste en el desarrollo de un agente cognitivo que modifica su comportamiento al jugar ajedrez; integrando un modelo de emociones sintéticas. **Relación:** agente cognitivo que modifica su comportamiento en base a emociones. **Diferencia:** se modela una conducta, en particular un piloto en combate.
- *Un modelo de estudiante basado en mapas cognitivos* [5]. **Tesis doctoral 2007**”. La tesis plantea que al representar los atributos de la experiencia enseñanza-aprendizaje es posible inferir el impacto causal que se producirá en el estudiante. **Relación:** simula posibles efectos del entorno sobre un modelo usando mapas cognitivos. **Diferencia:** la representación del conocimiento no modela emociones.

## 2.2 Artículos:

- *Artificial Self Awareness for Emergent Behavior* [6]. **Artículo en revista, 2016.** Investigación que representa teóricamente el comportamiento de un chimpancé virtual utilizando mapas cognitivos difusos y el modelo de representación cognitiva de emociones propuesta por Ortony, Clore and Collins [2]. **Relación:** conducta reactiva utilizando la teoría OCC y mapas cognitivos difusos. **Diferencia:** la investigación se representa de manera teórica a diferencia de la presente propuesta que involucra el desarrollo un software de simulación.
- *A Reactive Behavior Agent: including emotions for a video game* [7]. **Artículo en revista, 2012.** Se describe una arquitectura que toma en consideración *dos emociones* asociadas al comportamiento de un avatar cuyo contexto es un videojuego. Lo anterior lo logra a través de una *arquitectura emotiva*, en la que involucra un *modelo afectivo individual* y un *generador de acontecimientos*; quienes alimentan de forma directa al *módulo del sistema cognitivo* y de esta forma se genera una determinada acción. **Relación:** en este caso existe un agente reactivo; que encapsula el comportamiento y el proceso de toma de decisiones tomando en consideración las emociones y los eventos provenientes del entorno; utiliza la teoría OCC para el diseño de las emociones. **Diferencia:** la implementación es a través de módulos que se comunican, no cuenta con una representación de nodos que relacionen todos los elementos del comportamiento de forma distribuida en el motor de inferencia.

## 2.3 Trabajos relacionados - Proyectos Terminales:

- *Simulación dinámica en el proceso de toma decisiones en una sociedad multi-agente.* [8] Miranda Rochin Eduardo. **Proyecto terminal de Investigación, Licenciatura en Computación UAM-I. Otoño-2016.** Simulación de un sistema *multi-agente* de un grupo de chimpancés y depredadores utilizando un modelado de emociones y mapas cognitivos difusos. **Relación:** afectación de emociones en el proceso de toma de decisiones. **Diferencia:** utiliza un sistema *multi-agente* para representar la simulación.
- *Clasificación de las emociones en el habla en español.* [9] Orlando Muñoz Texzocotetla. **Proyecto terminal de Investigación, Licenciatura en Computación UAM-I. Otoño-2007.** Se analizan las emociones en el habla desde el punto de vista acústico y fonético con el fin de desarrollar un sistema que permite clasificar las emociones en el habla español. **Relación:** el uso de las emociones con el fin de crear interfaces más amigables utilizando técnicas de inteligencia artificial. **Diferencia:** el comportamiento que se estudia a través de las emociones es el habla, en nuestro caso de estudio es incluir las emociones dentro de un *agente cognitivo*.
- *Simulación de tránsito vehicular dentro de una glorieta usando autómatas celulares.* [10] Ávila Romero, Jorge Omar. **Proyecto terminal de Investigación, Licenciatura en Ingeniería en Computación UAM-A. Primavera-2009.** Se analiza la evolución del tránsito vehicular utilizando autómatas celulares; siendo estos últimos una técnica de inteligencia artificial para modelar sistemas dinámicos que evoluciona en pasos discretos. **Relación:** la

simulación es una técnica poderosa que nos permite obtener conclusiones valiosas cuando no se pueden estudiar los sistemas de forma real y nos permite considerar cambios en los parámetros de entrada y predecir funcionamientos irregulares. **Diferencia:** las emociones no participan en el proceso de toma de decisiones de la simulación.

### 3 Justificación

Durante largo tiempo se pensó que las emociones no eran relevantes en el proceso de toma de decisiones, incluso se les consideró un estorbo para este proceso. El panorama ha cambiado desde que se han encontrado evidencias de que los estados afectivos juegan un rol crucial en el proceso de toma de decisiones, y que la ausencia de éstas, al contrario de lo que se pensaba, vuelve errático al comportamiento humano.

De acuerdo a Rosalind Picard, mencionado en [3]: “*Las emociones son una fuente de la motivación que forman parte fundamental en el proceso de toma de decisiones*”.

El objetivo de este trabajo es programar e implementar un modelo cognitivo que toma en consideración las emociones de un piloto en combate y cómo éstas influyen en las acciones específicas del comportamiento, en el que se probarán diferentes escenarios hipotéticos, para sondear tal afectación.

Este trabajo se ubica dentro del área de investigación llamada *computación afectiva* [3] que de acuerdo a Picard se define como: computación que se relaciona: 1) con, 2) que surge desde, o 3) que deliberadamente influye en las emociones, permitiendo la implementación de programas que simulan emociones (Picard, 1995).

Así mismo el presente proyecto terminal se une al amplio panorama de estudio de las emociones en la inteligencia artificial y aborda el estudio de conductas emergentes en agentes cognitivos que ayudan a estudiar comportamientos que se asemejen a las interacciones y necesidades humanas para hacer un mejor uso de las tecnologías de hardware y software en la vida cotidiana.

### 4 Objetivos

**4.1 Objetivo general:** implementar un software para simular el modelo de conducta del Barón Rojo (Manfred Von Richthofen) en combate, utilizando la estructura cognitiva emocional y el modelo mental propuesto en el artículo de investigación: “A cognitive model for the Red Baron: a perspective taking into account emotions” [1] (Figura 3).

#### 4.2 Objetivos específicos:

- Diseñar y enriquecer a partir del modelo mental detallado en [1] los distintos comportamientos que representan el modelo mental global de la conducta del Barón Rojo en combate.

- Codificar las máquinas de estados finitos de los comportamientos anteriores.
- Implementar el comportamiento del *agente cognitivo* enlazando las distintas máquinas de estado.
- Diseñar la interfaz del sistema de simulación, llamado de ahora en adelante *hábitat sintético* del comportamiento del agente cognitivo, donde se representan distintos escenarios y eventos aleatorios que representan el entorno externo.
- Programar e implementar el *hábitat sintético*.
- Realizar pruebas para escenarios hipotéticos dentro del sistema.

## 5 Marco teórico

### 5.1 Teoría OCC

La Teoría OCC es una herramienta que nos permite estudiar el efecto de las emociones en agentes de software, mediante dicha teoría se crea una estructura afectivo-cognitiva (EAC) que contiene las relaciones entre agentes, objetos y eventos, así como las respectivas emociones implicadas [2]. Dicha estructura tiene el objetivo fundamental de simular el acoplamiento de las emociones en un agente cognitivo dependiendo del estado actual de sus motivaciones.

La EAC divide el entorno en tres grandes áreas de interés y toma en cada una de ellas un criterio para evaluar su significancia dentro del entorno, la consecuencia de dicho análisis es la clasificación de tres grandes clases de emociones, en la tabla siguiente se muestra un esbozo:

Área de interés	Criterio de evaluación	Emoción
1) Acontecimientos y sus consecuencias	Metas	Basada en acontecimientos
2) Agentes y sus acciones	Normas	De responsabilidad
3) Objetos puros y simples	Actitudes	De atracción

Tabla 1. Agentes, eventos y objetos de la teoría OCC.

Para conocer la intensidad de dichas emociones existen dos tipos de variables, locales y globales; las variables locales son las que afectan sólo a un tipo de emoción; y las variables globales, son aquellas que afectan la intensidad de dos o más emociones.

Nuestro ACBR experimenta emociones que se ven afectadas por tales variables a medida que va cumpliendo con objetivos, normas y conductas individuales, de esta manera el ACBR “muestra” Gloria por las consecuencias de sus metas/sub-metas (Figura 8) para derribar al enemigo y análogamente puede “mostrar” miedo y ansiedad como consecuencia de entrar al estado: bajo ataque enemigo y/o evadir al enemigo.

### 5.2 Mapas cognitivos difusos

En el campo de la inteligencia artificial, los mapas cognitivos codifican el conocimiento relativo a los eventos causales y cómo éstos se activan. La modelación de mapas cognitivos usando Lógica Difusa es parecida al lenguaje humano, debido a la incertidumbre inherente que se encuentra en el

conocimiento del mundo real. Estos modelos de representación del conocimiento han sido utilizados con mucho éxito para modelar el comportamiento de sistemas expertos en diferentes temas [11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18]. Los mapas cognitivos difusos (FCM's) están representados por un grafo, en el que los nodos son conceptos que describen las características principales del sistema y las flechas entre los nodos representan relaciones causales (positivas o negativas) entre conceptos. A continuación, en la figura 1 [6], se muestra la representación de un grafo ejemplificando la influencia que cada concepto tiene sobre los demás.

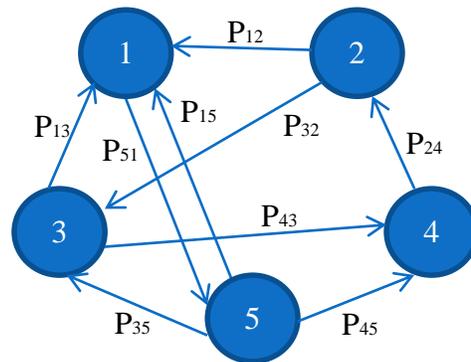


Figura 1.- Ejemplo de un Mapa Cognitivo Difuso

Los conceptos en un Mapa Cognitivo Difuso (MCD) presentan eventos, cuyos valores cambian a través del tiempo. Los conceptos toman valores en el intervalo  $[0, 1]$ , y los pesos de interconexión,  $P_{ij}$ , toman valores en la Intervalo  $[-1,1]$ . Como muestra el gráfico, el valor correspondiente al borde entre los conceptos  $i$  y  $j$  es representado por  $P_{ij}$ . Entonces  $P_{ij} = 0$  indica la ausencia de una relación entre los conceptos  $i$  y  $j$ , y  $P_{ij} > 0$  indica una causalidad positiva, lo que significa que un aumento en el concepto  $i$  se traduce en un aumento en el concepto  $j$  o que una reducción en el concepto  $i$  produce una reducción en el concepto  $j$ . Si  $P_{ij} < 0$ , hay un causalidad negativa, lo que significa que un aumento en el concepto  $i$  produce una reducción en el concepto  $j$  o que una reducción en el concepto  $i$  produce un aumento en el concepto  $j$ . [19]

Las representaciones causales entre los elementos de la conducta y las emociones, quedan detalladas en la presente investigación sin embargo debido a los alcances y a la complejidad involucrada en la simulación de todas las emociones, presentes en el artículo en que se basa este trabajo [1], sólo se incluyen las emociones en sus dos extremos; consideradas como representativas. Fueron elegidas con base en un análisis de relevancia en la simulación; teniendo como resultado la inclusión general de dos emociones, que incluyen sus extremos (+/-): temeridad-miedo, gloria-ansiedad.

## 6 Desarrollo del proyecto.

### 6.1 Análisis de la conducta

La historia de la aviación y de la Primera Guerra Mundial nos dejó el recuerdo de un piloto de incomparable talento y valentía, **Manfred von Richthofen**. Considerado como un héroe por sus compatriotas y muy respetado por sus enemigos.

Manfred Albrecht Freiherr von Richthofen, conocido como “El Barón Rojo”, fue un militar y aviador alemán. (Breslavia, Imperio alemán (actual Polonia); 2 de mayo de 1892 –Vaux-sur-Somme, Francia; 21 de abril de 1918).



Figura 2. El Barón Rojo

Héroe de los alemanes y los polacos, en su primera batalla aérea sobre el cielo de Cambrai (*Francia*), el 17 de septiembre de 1916, mostró sus cualidades como piloto: una gran agudeza visual y un don innato para hacer frente al peligro. Gracias a su gran labor, fue galardonado con la Cruz del Mérito. Además, desde el alto mando le otorgaron la comandancia de una unidad de cazas llamada Jasta 11 (*circo volante*). Dentro de este cuerpo de pilotos se ganó el apodo de *Barón Rojo* porque en el diseño de sus aviones el color predominante era el rojo brillante (como una invitación a sus enemigos a derribarlo). Llegó a dirigir 58 misiones con total éxito, en las cuales derribó 80 aviones, algo que nadie llegó a superar en ningún bando durante el resto de la guerra, fue respetado por sus enemigos ya que permitía escapar a sus víctimas malheridas.

En abril de 1917, considerado en la primera guerra mundial como el abril sangriento por la *Royal Flying Corps (RFC)*, el Reino Unido perdió 316 miembros de tripulación aérea y Alemania perdió 114. En ese mes al Barón Rojo le fueron atribuidas en solitario 21 derribos. Sus hombres insinuaban que su líder tenía un comportamiento suicida sin importar lo más mínimo el peligro, tan sólo su prestigio aéreo.

Sus aviones, el caza biplano Albatros D.II y luego el triplano Fokker Dr. I, le permitían una amplia capacidad de maniobras y piruetas.

En toda su carrera Manfred von Richthofen fue derribado tres veces, de las cuales salió con vida en dos de ellas. La primera resultó alcanzado en su depósito de combustible y tuvo que realizar un aterrizaje de emergencia. En la segunda fue herido en la cabeza y salvó la vida por poco. En esta ocasión tuvo que estar de baja casi veinte días, pero su sed de victorias le hizo volver a los mandos de su avión antes de estar recuperado totalmente. Se especula que las secuelas de esta herida jugaron un rol importante en el momento de ser derribado definitivamente.

Algunas de las frases que escribió en su libro [20] nos revelan sus pensamientos acerca del combate:

*“El espíritu agresivo, la ofensiva, es el factor que prima en cualquier aspecto de la guerra y el aire no es la excepción”*

*“El éxito solo brota de una perseverancia constante, perseverancia sin descanso.”*

*“Los pilotos de caza han de patrullar por el área que se les asigne, de la forma que prefieran, y cuando avisten a un enemigo han de atacarle y derribarle; cualquier otra cosa es basura.”*

*“Aquel que se ponga nervioso en el combate, seguro que cometerá errores”*

*“Comencé a disparar cuando todavía me encontraba a mucha distancia. Era solamente un truco mío. No pretendía herirle tanto como asustarle, y conseguí alcanzarlo. Comenzó a volar curvas, lo que me permitió aproximarme”*

De acuerdo a la descripción arriba citada podemos identificar aspectos importantes de su conducta:

- Es un estratega que toma su seguridad de la máquina que pilota y posee una fuerte determinación para entrar y terminar con victoria un combate.
- Perfeccionó una táctica de combate hasta hacerla casi imbatible por el enemigo, de ahí que sólo fuera derribado en una ocasión.
- Es un líder de escuadrón y un gran tirador debido al récord de sus victorias.
- Si está bajo ataque enemigo es estricto pero a la vez agresivo e innova sus maniobras evasivas de vuelo, practica trucos (habilidades) que le permiten desconcertar al enemigo.
- Al ser un piloto perseverante, entrará en combate y no abandonará la batalla hasta ver derribado al enemigo o que las condiciones del aeroplano o del clima no se lo permitan.
- Es un piloto arriesgado no obstante precavido por lo que en la mayoría de los combates encontrará una posición ventajosa para disparar.
- Debido a su valiente determinación frente al combate disparará tan pronto se encuentre en una posición ventajosa y tenga al enemigo en la mira, en caso de no contar con municiones tratará de derribar al enemigo destrozando sus alas con las ruedas.

Basados en el anterior análisis podemos definir los elementos y estados relevantes de su conducta que lo caracterizaron a lo largo de sus victorias, dichos elementos tienen su fundamento principalmente en el artículo escrito por Laureano et al. [1]: “A cognitive model for the Red Baron: a perspective taking into account emotions” así como también en el libro: The Red Fighter Pilot [20] y se presentan en la siguiente lista:

- ✓ **Checar condiciones de vuelo:** hacer un chequeo general del estado del aeroplano entre las cuales se encuentran: municiones, buenas condiciones del aeroplano y combustible, además del buen clima, al despegar y durante el vuelo.
- ✓ **Cuidar Flancos:** una de las habilidades más importantes de su práctica aérea, mantenerse atento siempre para prevenir y sacar ventaja de posibles escenarios de combate.
- ✓ **Encontrar enemigos:** se apegará al protocolo de sobrevolar el territorio conquistado por los alemanes en busca de aeroplanos enemigos, llamada “misión de vigilancia”.
- ✓ **Verificar un ataque enemigo:** bajo un ataque enemigo realizará una maniobra evasiva siempre buscando una posición ventajosa.

- ✓ **Evadir al enemigo:** realizará maniobras evasivas para evitar ser impactado por una bala.
- ✓ **Encontrar una posición ventajosa en combate:** al estar en un combate aéreo intenta siempre buscar la cola del enemigo o planear sobre él para descender en picada y ametrallar.
- ✓ **Atacar al enemigo:** al identificar un enemigo se lanzará al acecho inmediatamente.
- ✓ **Atacar al enemigo sin armas:** aun si se quedara sin municiones, podría acercarse peligrosamente a los enemigos para destruir sus alas con sus ruedas u obligarlos a estrellarse.
- ✓ **Regresar a la base:** decide regresar a la base en función de las condiciones de vuelo.

## 6.2 Modelo Mental general Descripción del Hábitat-sintético

EMPEZAR	
Despegar	PASO 1
SI (buen clima)	
MIENTRAS (situación de combate)	
REPITE	
Mirar flancos	PASO 2
Buscar enemigos	PASO 3
Identificar enemigos	PASO 4
SI (en ventaja)	
Apunta al enemigo	PASO 5
SI (hay municiones)	
Ataca al enemigo	PASO 6
SINO	
Ataca al enemigo sin armas	PASO 7
FINSI	
FINSI	
SI (bajo ataque enemigo)	
Evade al enemigo (PASO 3)	PASO 8
FINSI	
HASTA (no hay buenas condiciones del aeroplano OR combustible insuficiente OR no hay buen clima)	
FINMIENTRAS	
Volver a la base	PASO 9
Aterrizar	PASO 10
FINSI	
TERMINAR	

Figura 3. Modelo mental general del Barón Rojo en un escenario de combate

### 6.3 Modelos mentales complementarios

*Bloque seleccionar al enemigo (PASO 4)*

```
EMPEZAR
  IF (Existe enemigo en rango)
    Atacar enemigo (PASO 6)
  SINO
    IF (Existe enemigo en rango)
      Atrae Enemigo
      PASO 4.2
    ENDIF
  ENDIF
TERMINAR
```

Figura 4. Modelo mental: Seleccionar enemigo.

*Bloque atacar sin armas (PASO 7)*

```
EMPEZAR
  SI (Existe un aeroplano enemigo)
    SI (Existe un aeroplano enemigo libre)
      SI (Existe un aeroplano enemigo en rango)
        Destruye la cola del aeroplano enemigo
      SINO
        Destruye las alas del aeroplano enemigo
    FINSI
  FINSI
TERMINAR
```

Figura 5. Modelo mental: atacar enemigo sin armas

*Bloque evadir al enemigo (PASO 8)*

```
EMPEZAR
  SI (Existe ventaja)
    Invertir riesgo de maniobra
    Atacar al aeroplano enemigo (PASO 6)
  SINO
    Reducir velocidad
    Atacar al aeroplano enemigo
    sin armas (PASO 7)
  FINSI
TERMINAR
```

Figura 6. Modelo mental: Evadir al enemigo.

*Bloque Atacar con armas (PASO 6)*

```
EMPEZAR
  SI (Existe un aeroplano enemigo
    AND Existen municiones)
    Atacar al aeroplano enemigo
  SINO
    Buscar aeroplano enemigo
  FINSI
TERMINAR
```

Figura 7. Modelo mental: atacar enemigo

## 6.4 Análisis cognitivo de tareas

<b>Pasos de desarrollo</b>	<b>Contenido de los pasos</b>	<b>Tipo de representación</b>	<b>Complejidad de los procesos básicos</b>
STEP 1. Despegar	Procedural	Procedimental	Generalización
STEP 2. Cuidar los flancos	Procedural y táctico	Procedimental	Discriminación simple
STEP 3. Buscar al enemigo	Procedural y estratégico	Procedimental	Discriminación simple
STEP 4. Identificar al enemigo	Factual	Estructural	Discriminación simple
STEP 5. Encuadrar al enemigo	Procedural y táctico	Procedimental	Solución de problemas de alta complejidad
STEP 6. Atacar al enemigo	Procedural y táctico	Procedimental	Solución de problemas de alta complejidad
STEP 7. Atacar al enemigo sin armas	Procedural y táctico	Procedimental	Solución de problemas de alta complejidad
STEP 8. Evadir al enemigo	Procedural y táctico	Procedimental	Solución de problemas de alta complejidad
STEP 9. Regresar a la base	Procedural	Procedimental	Generalización

<b>Pasos de desarrollo</b>	<b>Contenido de los pasos</b>	<b>Tipo de representación</b>	<b>Complejidad de los procesos básicos</b>
STEP 6.1 Atacar avión enemigo	Procedural	Procedimental	Solución de problemas de baja complejidad
STEP 6.2 Buscar avión enemigo	Procedural	Procedimental	Discriminación simple
STEP 6.3 Atacar líneas enemigas en tierra	Procedural	Procedimental	Solución de problemas de baja complejidad
STEP 10. Aterrizar	Procedural	Procedimental	Generalización

<b>Pasos de desarrollo</b>	<b>Contenido de los pasos</b>	<b>Tipo de representación</b>	<b>Complejidad de los procesos básicos</b>
STEP 8.1 Maniobra en rizo invertido	Procedural	Procedimental	Solución de problemas de baja complejidad
STEP 8.2 Disminuir la velocidad	Procedural	Procedimental	Discriminación simple

<b>Pasos de desarrollo</b>	<b>Contenido de los pasos</b>	<b>Tipo de representación</b>	<b>Complejidad de los procesos básicos</b>
STEP 7.1 Destruir cola de avión enemigo	Procedural	Procedimental	Discriminación simple
STEP 7.2 Destruir alas de avión enemigo	Procedural	Procedimental	Discriminación simple
STEP 7.3 Vuelo rasante sobre líneas enemigas en tierra	Procedural	Procedimental	Discriminación simple

Tabla 2.- Análisis cognitivo de tareas

**Análisis cognitivo de tareas en base a las habilidades necesarias en las sub-tareas.**

<b>Habilidades</b>	<b>Conocimiento necesario</b>	<b>Representación conceptual</b>
Reconocimiento de patrones	Colores y modelos de aviones amigos y enemigos	PASO 3, PASO 4
Procedural y estratégico	Manipulación del avión	PASO 3
Procedural y táctico	Generalidades del modelo del avión	PASO 2, PASO 5, PASO 6, PASO 7, PASO 8
Procedural	Dominio de los principios básicos de vuelo	PASO 1, PASO 9, PASO 10

<b>Habilidades</b>	<b>Conocimiento necesario</b>	<b>Representación conceptual</b>
Reconocimiento de patrones	Color y modelos de los uniformes enemigos	PASO 6.3
Procedural y estratégico	Manipulación del avión	PASO 6.1, PASO 6.2
Procedural	Dominio de los principios básicos de vuelo	PASO 6.3

<b>Habilidades</b>	<b>Conocimiento necesario</b>	<b>Representación conceptual</b>
Reconocimiento de patrones	Color y modelo de aviones enemigos	PASO 7.1, PASO 7.2
Procedural y estratégico	Manipulación del avión	PASO 7.3

<b>Habilidades</b>	<b>Conocimiento necesario</b>	<b>Representación conceptual</b>
Procedural y estratégico	Manipulación del avión	PASO 8.1, PASO 8.2

Tabla 3.- Análisis cognitivo de tareas en base a las habilidades necesarias en las sub-tareas.

### 6.5 Macro-estructura de objetivos del ACBR.

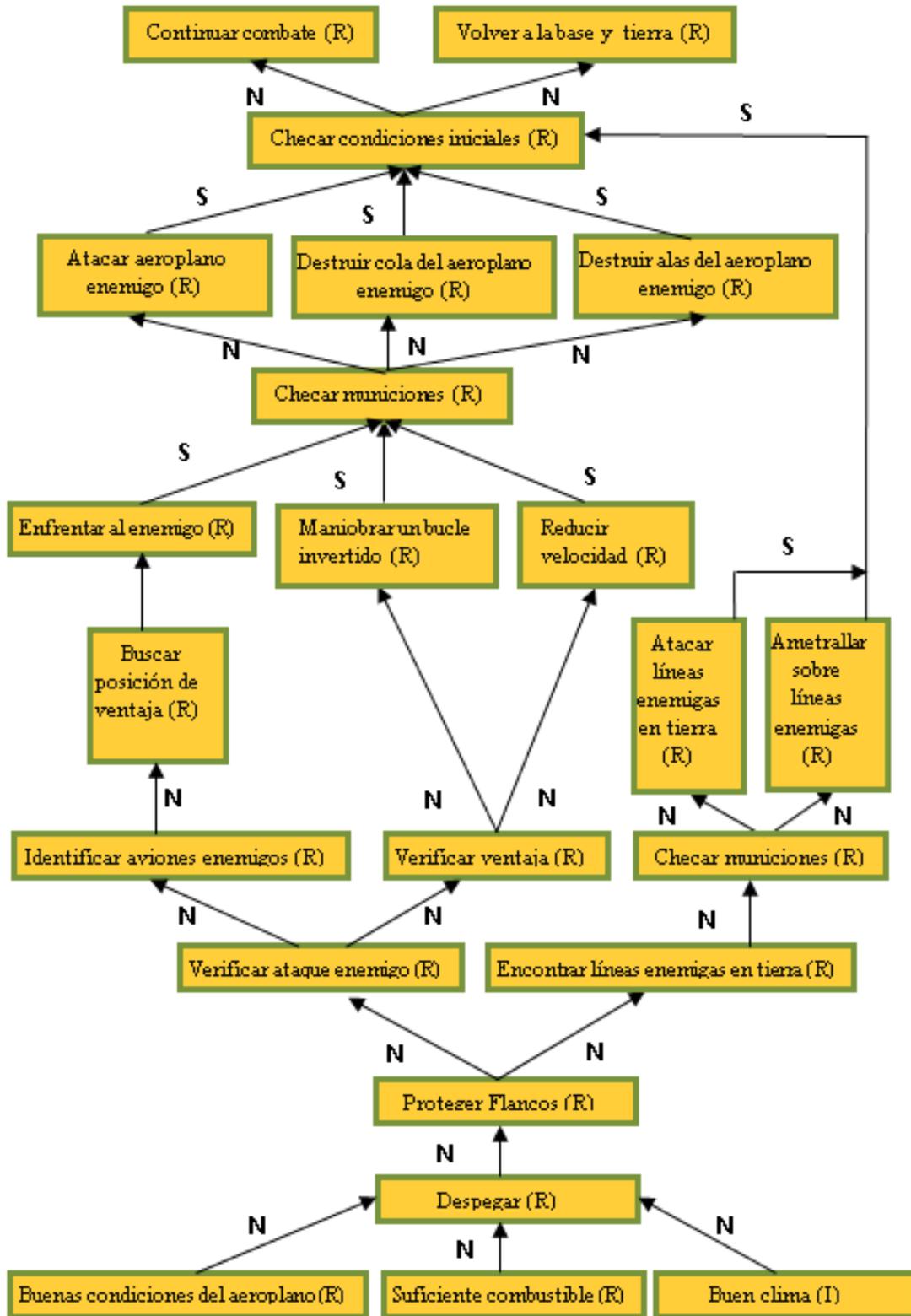


Figura 8. Macro-estructura cognitiva del Barón Rojo.

### Elementos:

**(A):** objetivos activos que uno quiere lograr. Incluyen objetivos de adquisición que consiguen ciertas cosas, metas de entretenimiento que buscan goce, metas instrumentales que fomentan la búsqueda de otros objetivos y metas de crisis que manejan crisis cuando se amenazan objetivos de conservación.

**(I):** objetivos de Interés, cosas que uno espera que ocurran. No están activos porque uno no cree que uno pueda influir en ellos. Incluyen metas de preservación (que preservan estados).

**(R):** objetivos de relleno, alcanzables que no se descartan. Incluyen objetivos de satisfacción. Son objetivos cíclicos y rutinarios como comer, dormir, entre otros.

### Enlaces:

**(S):** suficiente, lo que significa que cuando hay varios sub-objetivos, bastará con que uno de ellos se cumpla para alcanzar el objetivo con mayor jerarquía.

**(N):** necesario, objetivos principales como volar, atacar, evadir, entre otros.

**(F):** vínculos que pueden facilitar la realización de otros objetivos.

**(I):** inhibitorios, las consecuencias de un objetivo impiden el cumplimiento de otro.

## 6.6 Motor de Inferencia: Matriz causal

Matriz causal de las relaciones entre los elementos de la conducta y las emociones del ACBR.

- |  |  |   |   |                                    |
|--|--|---|---|------------------------------------|
| 1.- Buen clima, <b>BC</b>                        | 5.- Buscar avión enemigo, <b>BAE</b>   | 9.- Enemigo en la mira, <b>EEM</b>              | 13.- Enemigo derribado, <b>ED</b>         | 17.- Regresar a la base, <b>RB</b> |
| 2.- Suficiente combustible, <b>SC</b>            | 6.- Cuidar los flancos, <b>CF</b>      | 10.- Hay municiones, <b>HM</b>                  | 14.- Bajo ataque enemigo, <b>BA</b>       | 18.- Temeridad, <b>Tem</b>         |
| 3.- Buenas condiciones del aeroplano, <b>BCA</b> | 7.- Identificar al enemigo, <b>IAE</b> | 11.- Atacar avión enemigo con armas, <b>ACA</b> | 15.- Evadir al enemigo, <b>EAE</b>        | 19.- Gloria, <b>Glo</b>            |
| 4.- Despegar, <b>Des</b>                         | 8.- Encuentra ventaja, <b>EV</b>       | 12.- Atacar sin armas, <b>ASA</b>               | 16.- Maniobra, rizo invertido, <b>MRI</b> |                                    |

	BC	SC	BCA	Des	BAE	CF	IAE	EV	EEM	HM	ACA	ASA	ED	BA	EAE	MRI	RB	Tem	Glo
BC	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SC	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0
BCA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0
Des	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	-1	0	0
BAE	0	-1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IAE	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EV	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
EEM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
HM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0
ACA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	0	0	0	0	1	0
ASA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
ED	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
BA	0	0	-1	0	-1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	-1
EAE	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	1	0
MRI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
RB	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0
Tem	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Glo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0

Tabla 4.- Matriz de Adyacencia del ACBR



## 6.7 Prueba de tres Escenarios Hipotéticos

Escenario hipotético número 1:

Elementos de la conducta o emociones activados positivos en el vector de entrada: Buen clima (BC), Suficiente Combustible (SC), Buenas condiciones del Aeroplano (BCA), Buscar Avión Enemigo (BAE).

Elementos de la conducta o emociones activados negativos en el vector de entrada: Encuentra Ventaja (EV), Enemigo en la mira (EEM) y Hay Municiones (HM).

	BC	SC	BCA	Des	BAE	CF	IAE	EV	EEM	HM	ACA	ASA	ED	BA	EAE	MRI	RB	Tem	Glo
V[0]=	1	1	1	0	1	0	0	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
V[1]=	0.5	0.886693	0.5	0.993307	0.993307	0.993307	0.993307	0.993307	0.006693	0.5	0.993307	0.006693	0.5	0.5	0.993307	0.5	0.000045	0.000045	0.006693
V[2]=	0.5	0.8	0.921762	0.924126	0.924142	0.999951	0.9933081	0.999996	0.9933081	0.992847	0.075858	0.508365	0.993307	0.006919	0.924158	0.508365	0.006919	1	0.9933081
V[3]=	0.5	0.79998	0.98991	0.921681	0.999164	0.999903	0.99025	1	0.993307	0.888826	0.006935	0.993073	0.948881	0.009749	0.993533	0.993073	0.142156	1	0.999951
V[4]=	0.5	0.744339	0.989643	0.856832	0.999142	0.999953	0.993279	1	0.993307	0.411695	0.011611	0.993081	0.993307	0.006911	0.993624	0.993306	0.089995	1	0.999938
V[5]=	0.5	0.729257	0.985931	0.88595	0.998114	0.999953	0.993279	1	0.993307	0.335983	0.113199	0.993081	0.993461	0.006908	0.993533	0.993305	0.216219	1	0.999951
V[6]=	0.5	0.663358	0.987814	0.805167	0.997628	0.999953	0.993244	1	0.993307	0.369199	0.157106	0.993081	0.996055	0.006911	0.993533	0.993306	0.261415	1	0.999951
V[7]=	0.5	0.576417	0.981859	0.767263	0.997006	0.999953	0.993228	1	0.993307	0.280987	0.136344	0.993081	0.99683	0.006911	0.993533	0.993306	0.30967	1	0.999952
V[8]=	0.5	0.240724	0.978156	0.721447	0.994425	0.999952	0.993207	1	0.993307	0.244329	0.197034	0.993081	0.996485	0.006911	0.993533	0.993306	0.464115	1	0.999952
V[9]=	0.5	0.203447	0.972686	0.544736	0.991643	0.999952	0.993119	1	0.993307	0.204538	0.227647	0.993081	0.997402	0.006911	0.993533	0.993306	0.56968	1	0.999952

Tabla 5.- Primer Escenario Hipotético

Elementos de la conducta activados positivos en el vector de salida:

Buenas condiciones del Aeroplano (BCA), Buscar Avión Enemigo (BAE), Cuidar Flancos (CF), Identificar Avión Enemigo (IAE), Encuentra Ventaja (EV), Enemigo en la Mira (EEM), Atacar sin Armas (ASA), Enemigo Derribado (ED), Evadir al Enemigo (EAE), Maniobra Rizo Invertido (MRI), Temeridad (Tem) y Gloria (Vic).

Interpretación: el presente escenario es interesante debido a que el ACBR se encuentra en un escenario bastante desfavorable, ya que no se encuentra apto para encontrar ventaja en sus enemigos, además de que no los puede tener en la mira para derribarlos y no cuenta con municiones, sin embargo, aún dadas esas circunstancias después de despegar busca aviones enemigos, identifica a un oponente y entra en situación de combate y puesto que no tiene municiones ataca a su enemigo sin armas, debido a sus ágiles maniobras, y

consigue derribarlo; sin embargo no se sabe si regresó a la base después de obtener una victoria o siguió combatiendo con el poco combustible que le quedaba.

Escenario hipotético número 2:

Elementos de la conducta o emociones activados positivos en el vector de entrada: Buen clima (BC), Suficiente Combustible (SC), Buenas condiciones del aeroplano (BCA), Bajo Ataque enemigo (BA) y Temeridad (Tem).

	BC	SC	BCA	Des	BAE	CF	IAE	EV	EEM	HM	ACA	ASA	ED	BA	EAE	MRI	RB	Tem	Glo
V[0]=	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
V[1]=	0.5	0.935095	0.906693	0.993307	0.5	0.5	0.5	0.999955	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.999955	0.5	0.000045	0.993307	0
V[2]=	0.5	0.921762	0.921762	0.924126	0.993081	0.999447	0.924142	1	0.993306	0.921762	0.924142	0.075858	0.993307	0.006694	0.999428	0.508365	0.006919	1	1
V[3]=	0.5	0.91465	0.989921	0.921681	0.999899	0.999953	0.993073	1	0.993307	0.49998	0.993081	0.009865	0.993307	0.006712	0.993526	0.993081	0.01974	1	1
V[4]=	0.5	0.903455	0.989797	0.916927	0.998705	0.999953	0.993304	1	0.993307	0.411686	0.993081	0.075865	0.993404	0.006912	0.993527	0.993306	0.159097	1	1
V[5]=	0.5	0.818133	0.985169	0.838747	0.997958	0.999953	0.99326	1	0.993307	0.324145	0.993081	0.116119	0.996055	0.006911	0.993533	0.993306	0.231792	1	1
V[6]=	0.5	0.745394	0.959072	0.42938	0.98375	0.999951	0.993035	1	0.993307	0.144712	0.993081	0.276907	0.997529	0.006911	0.993533	0.993306	0.729994	1	1
V[7]=	0.5	0.658864	0.892097	0.240495	0.944764	0.999949	0.992745	1	0.993307	0.056332	0.993081	0.326609	0.998256	0.006911	0.993533	0.993306	0.910371	1	1
V[8]=	0.5	0.528711	0.762768	0.113865	0.811875	0.999938	0.991197	1	0.993307	0.022689	0.993081	0.430047	0.998639	0.006911	0.993533	0.993306	0.982601	1	1
V[9]=	0.5	0.513784	0.286063	0.076434	0.647609	0.99973	0.962664	1	0.993307	0.010119	0.993081	0.487354	0.99939	0.006911	0.993533	0.993306	0.998379	1	1

Tabla 6.- Segundo Escenario Hipotético

Elementos de la conducta activados positivos en el vector de salida:

Cuidar flancos (CF), Identificar avión enemigo (IAE), Encuentra Ventaja (EV), Atacar con Armas (ACA), Enemigo Derribado (ED), Evadir al Enemigo (EAE), Maniobra Rizo invertido (MRI), Regresar a la base (RB), Temeridad (Tem) y Gloria (Vic).

Interpretación: después de verificar las condiciones de vuelo el ACBR despegó, se activa el elemento encuentra ventaja debido a su temeridad al inicio del vuelo, realiza un vuelo de reconocimiento en busca de aviones enemigos y encuentra uno, realiza maniobras para tenerlo en la mira y entra en una situación de combate, a continuación lo derriba y regresa a la base con Temeridad y Gloria, debido a que su aeroplano no se encuentra en buenas condiciones para seguir combatiendo.

Escenario hipotético número 3:

Elementos de la conducta o emociones activados positivos en el vector de entrada:

Buen clima (BC), Suficiente Combustible (SC), Buenas Condiciones del Aeroplano (BCA), Buscar Avión Enemigo (BAE) y Temeridad (Tem).

	BC	SC	BCA	Des	BAE	CF	IAE	EV	EEM	HM	ACA	ASA	ED	BA	EAE	MRI	RB	Tem	Glo
V[0]=	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
V[1]=	0.5	0	0.5	0.993307	0.993307	0.993307	0.993307	0.993307	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.993307	0.5	0.000045	0.5	0.5
V[2]=	0.5	0.5	0.921762	0.924126	0.924142	0.999951	0.993081	1	0.993081	0.921762	0.924142	0.075858	0.993307	0.006919	0.993307	0.924142	0.075858	1	0.993081
V[3]=	0.5	0.5	0.98991	0.8929	0.999164	0.999931	0.99025	1	0.993307	0.49998	0.993073	0.009865	0.993307	0.006919	0.993533	0.993073	0.142156	1	0.999951
V[4]=	0.5	0.4	0.988225	0.856832	0.999023	0.999953	0.993279	1	0.993307	0.377337	0.993081	0.075865	0.993404	0.006911	0.993533	0.993306	0.124809	1	0.999951
V[5]=	0.5	0.3	0.985931	0.867146	0.997764	0.999953	0.993275	1	0.993307	0.335983	0.993081	0.131623	0.995249	0.006911	0.993533	0.993306	0.247955	1	0.999951
V[6]=	0.5	0.3	0.986629	0.779065	0.997396	0.999953	0.993232	1	0.993307	0.347584	0.993081	0.157106	0.996401	0.006911	0.993533	0.993306	0.281645	1	0.999952
V[7]=	0.5	0.3	0.979382	0.748716	0.996212	0.999952	0.99322	1	0.993307	0.255388	0.993081	0.149577	0.99683	0.006911	0.993533	0.993306	0.363971	1	0.999952
V[8]=	0.5	0.2	0.976085	0.663771	0.993074	0.999952	0.99318	1	0.993307	0.227616	0.993081	0.218072	0.996709	0.006911	0.993533	0.993306	0.521708	1	0.999952
V[9]=	0.5	0.1	0.911323	0.3109	0.958425	0.99995	0.992895	1	0.993307	0.069077	0.993081	0.308343	0.997931	0.006911	0.993533	0.993306	0.880406	1	0.999952
V[10]=	0.5	0.1	0.586031	0.076432	0.650149	0.999729	0.96249	1	0.993307	0.010118	0.993081	0.487354	1	0.006911	0.993533	0.993306	0.999361	1	1

Tabla 7.- Tercer Escenario Hipotético

Elementos de la conducta activados positivos en el vector de salida:

Cuidar Flancos (CF), Identificar Avión Enemigo (IAE), Encuentra Ventaja (EV), Enemigo en la Mira (EEM), Atacar con Armas (ACA), Enemigo Derribado (ED), Evadir al Enemigo (EAE), Maniobra Rizo invertido (MRI), Regresar a la base (RB), Temeridad (Tem) y Gloria (Glo).

Interpretación: después de verificar las condiciones de vuelo el ACBR despegar, acto siguiente busca un avión enemigo en los alrededores y lo encuentra, como posee temeridad desde el inicio, incrementa las probabilidades de ser más diestro en sus maniobras y precisión de disparo, debido a ello derriba el enemigo y regresa a la base con Temeridad y Gloria, debido a que no cuenta con suficiente combustible para seguir combatiendo.

## 6.8 Descripción del Hábitat Sintético.

El *hábitat-sintético*, es el encargado de realizar la visualización aproximada de una situación real que sucede en un escenario de combate, para el presente caso de estudio, el *hábitat-sintético* es un entorno visual de simulación bidimensional que muestra al ACBR y a sus enemigos, así como a un conjunto de eventos que influyen directamente sobre su comportamiento.

Los avatares a modelar en el mundo virtual son:

1. Agentes activos: éstos son los agentes que modelan tanto al ACBR como a los “enemigos” contra los que combate en el mundo virtual.
2. Fuentes de recursos: éstos son entidades del mundo virtual que modifican las características de los agentes activos como son: cajas de municiones, depósitos de combustible, condiciones del aeroplano. Se detallan a continuación sus características:
  - (1) Gas: variable utilizada para medir el consumo de combustible en un periodo de vuelo convencional y que inicialmente se establece como 50 L, esta variable tiene un decremento en función del tiempo.
  - (2) Balas: variable utilizada para visualizar el número de balas con las que cuenta el ACBR, inicialmente se establecen en 20; cuando el ACBR se queda sin balas surge un comportamiento para atacar al enemigo sin balas.
  - (3) Clima: variable utilizada para indicar el clima del hábitat sintético y que inicialmente se establece con una probabilidad inicial de 1/2 de que el clima sea malo y una probabilidad recíproca para el evento contrario. Adicionalmente existe una probabilidad de 1/10 de que el clima cambie de bueno a malo o viceversa.
  - (4) Avión: variable utilizada para informar el estado del aeroplano, esta variable puede cambiar entre varios valores en orden decreciente: OPTIMO, REGULAR, AFECTADO E INEFICIENTE; estos estados se corresponden con las descripciones siguientes: “ningún disparo recibido”, “un disparo recibido”, “dos disparos recibidos” y “tres disparos recibidos”.
  - (5) Victorias: variable utilizada para desplegar en pantalla el número de victorias (aviones derribados) obtenidas por el ACBR.

Los eventos que se presentan en el mundo virtual son:

1. Movimiento: los ataques o huidas que realizan los avatares son visualizadas en el entorno, mostrando disparos, colisiones, explosiones y maniobras evasivas.
2. Condiciones generales de vuelo:
  1. Indicador de combustible: la barra de combustible va disminuyendo conforme el paso del tiempo.
  2. Buen clima: conforme transcurre el tiempo el clima cambia, dificultando el desenvolvimiento de los avatares.

3. Condiciones del aeroplano: indicador que determinará si el avatar se encuentra en riesgo de explotar (sólo es capaz de recibir tres impactos, en el cuarto estallará la nave, por lo que antes de ello decide regresar a la base).
3. Reglas generales que siguen los avatares:
    - 3.1. Aparecen en el escenario de combate enemigos aleatorios, uno a uno, que desaparecen del área de alcance si reciben un impacto.
    - 3.2. Cuando el ACBR es impactado hasta tres veces, vuelve al estado: “Evadir al Enemigo”, en caso contrario es derribado.
    - 3.3. El ACBR mantiene un chequeo constante de las condiciones de vuelo (Buen Clima, Combustible, Condiciones del Aeroplano y Municiones). Cuando las condiciones son óptimas (el clima es bueno, existe suficiente combustible y las condiciones del aeroplano son buenas, es decir no ha recibido más de dos disparos, se mantiene en el estado: Encontrar Enemigo. En caso contrario aterriza o es derribado. Excepto cuando se queda sin municiones, el clima es bueno, tiene suficiente combustible y no ha recibido más de dos disparos el ACBR continúa atacando hasta derribar al enemigo o ser derribado.
    - 3.4. Cuando el ACBR logra impactar a un enemigo se mantiene disparando al objetivo hasta conseguir derribarlo (tres impactos que reciba el enemigo son suficientes para derribarlo) y continua su búsqueda de enemigos para obtener el mayor número de victorias posibles. Cuando derriba a un enemigo vuelve al estado: “Verificar Ataque Enemigo”.

## 6.9 Implementación.

La simulación del modelo ACBR tiene una estructura interna determinada por máquinas de estado finito codificadas en el lenguaje de programación C# 4.5 empleando el IDE: Microsoft Visual Studio Professional 2013 y con la tecnología SDL para aplicaciones con interfaz gráfica de usuario.

Nota: la licencia para el software Microsoft Visual Studio Professional 2013 es la obtenida en el convenio UAM-Microsoft del servicio Dream Spark que permite el uso de Microsoft Visual Studio Professional 2013 industrial sin costo alguno para cuestiones académicas sin fines de lucro.

A partir del modelo descrito en 6.8 se realiza un software llamado *hábitat sintético* para simular el comportamiento del ACBR en un escenario de combate; la implementación de este sistema se logró empleando SDL Simple Direct Media Layer, por sus siglas en inglés, que es un conjunto de bibliotecas desarrolladas en el lenguaje de programación C que proporcionan funciones básicas para realizar operaciones de dibujo en dos dimensiones, gestión de efectos de sonido y música, además de carga y gestión de imágenes. Esta herramienta permite explotar de forma sencilla la aceleración por hardware de las interfaces gráficas, procesamiento multi-hilo y contenido multimedia. Teniendo fuerte inclusión en el desarrollo de videojuegos. Ver Apéndice 1.

La programación de nuestro entorno virtual fue diseñada mediante un paradigma dirigido por eventos, básicamente se trata de una implementación en la que tanto la estructura como la ejecución de los módulos del software van determinados por los sucesos que ocurran en el sistema, definidos por las variables predefinidas por el usuario [21] (Figura 10). A continuación, se muestra un diagrama de clases del barón rojo así como la de sus enemigos y sus interacciones con el entorno.

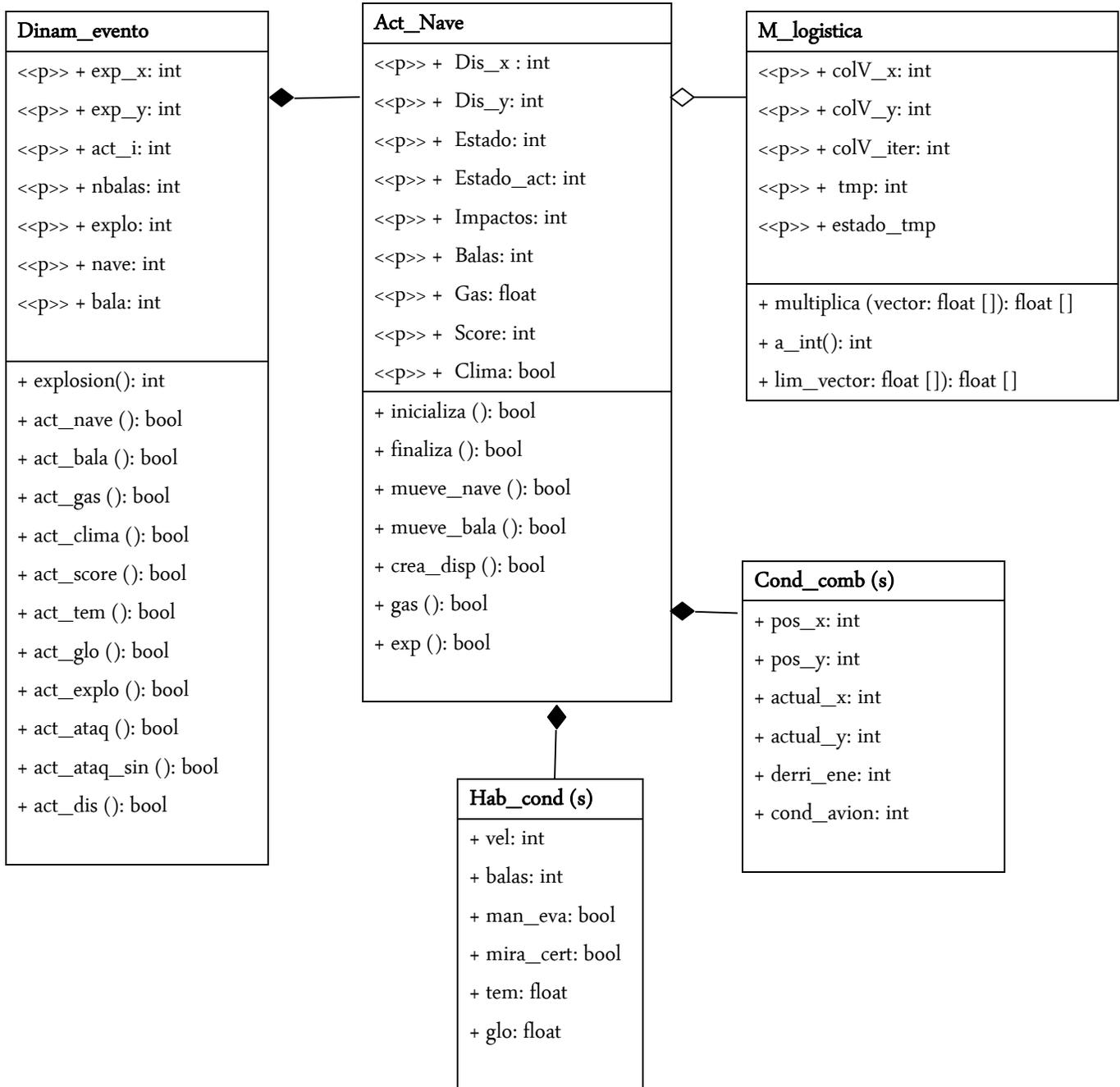


Figura 10. Diagrama de Clases simplificado del ACBR en combate.



Figura 11.- Diagrama de la metodología orientada a eventos.

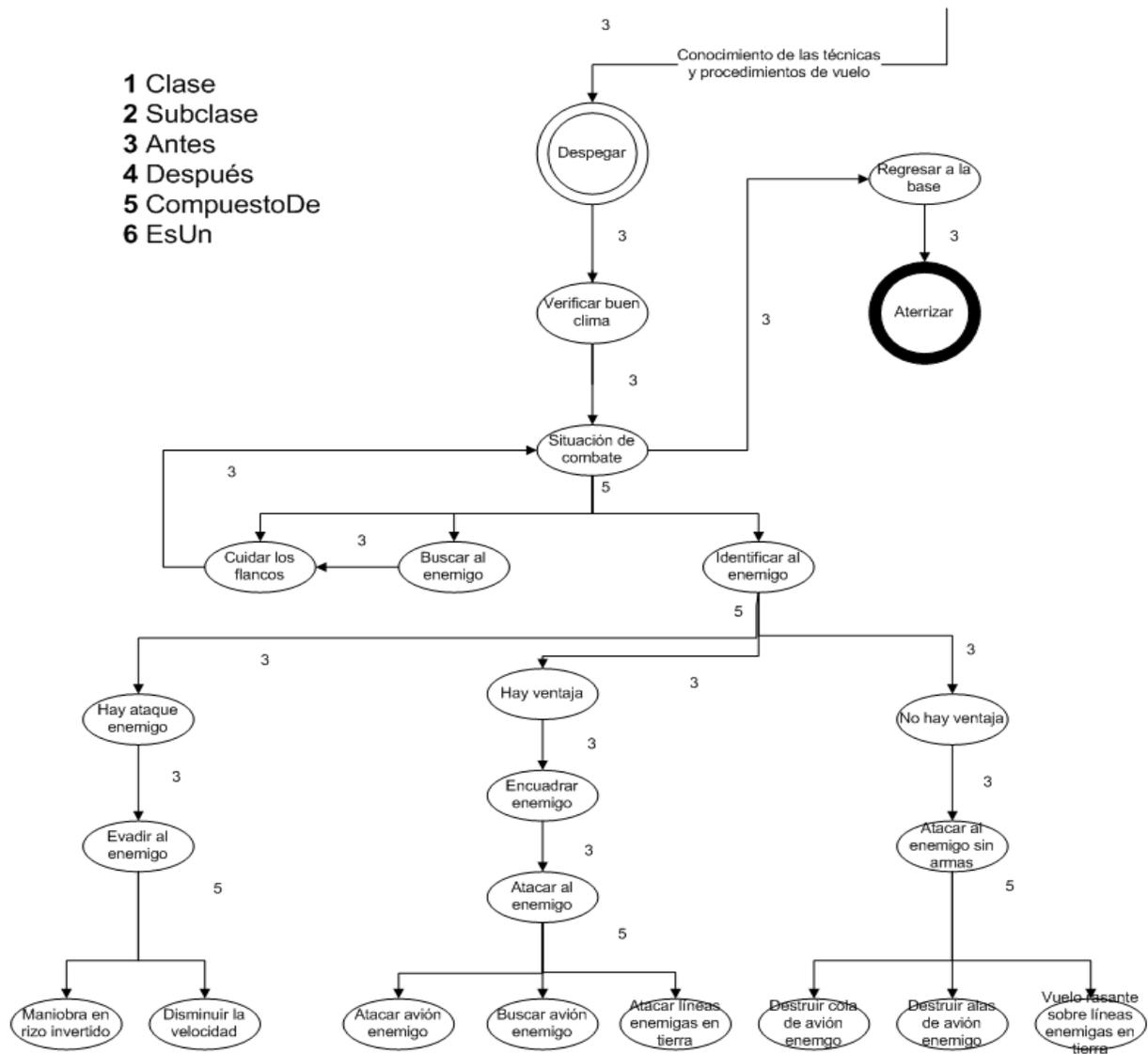


Figura 12.- Diagrama conceptual del ACBR en combate.

Para calcular las iteraciones del mapa cognitivo difuso del ACBR se utilizó un software llamado: “Programa de evaluación de Mapas Cognitivos Difusos”, este código fue desarrollado en [18], por medio del cual se realizaron las pruebas de los diferentes escenarios hipotéticos empleando la función logística que se refiere en la figura 11.

### 6.10 Interfaz Gráfica.

Las condiciones iniciales se introducen a la simulación mediante la manipulación de las variables del vector de entrada del *hábitat sintético*, con las que el ACBR entra en combate, éstas son como se detalla en la sección , combustible, municiones, enemigos, condiciones del aeroplano, clima, etc.

Los resultados procesados por la ejecución del comportamiento en el *hábitat sintético* se almacenan en un vector de salida que contiene distintos valores sobre los cuales el ACBR decide: regresar a la base o continuar combatiendo. En función de éstas se realiza un análisis para formular conclusiones que nos permitirán interpretar su comportamiento. A continuación en la figura 14 se muestra la interfaz gráfica completa del ACBR.

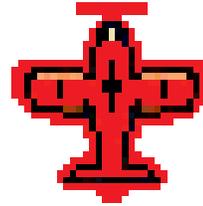


Figura 13.- Interfaz gráfica del *Hábitat sintético* del ACBR.

**Avatares:**

Son los personajes del mundo virtual que actúan con base en eventos que se disparan con el tiempo, dentro de nuestra simulación existen dos tipos: el primero es el triplano Caza Albatros D III del Barón Rojo. Cuenta con variables internas que nos proporcionan información sobre su estado actual como son:

- Condiciones del aeroplano.
- Contador de Victorias
- Contador de Gasolina
- Contador de balas
- Contador de impactos recibidos
- Posición
- Velocidad



**Figura 14. ACBR, Caza Albatros D III.**



**Figura 15. Dibujo de Manfred Von Richthofen. El Barón Rojo**

El segundo tipo de avatar que juega un papel en la simulación son sus enemigos, principalmente representados por las fuerzas aéreas de los británicos y los franceses. Sus características principales son básicamente iguales a las del ACBR aunque sin contador de victorias.

- Condiciones del aeroplano
- Contador de Gasolina
- Contador de balas
- Contador de impactos recibidos
- Posición
- Velocidad



**Figura 16. Enemigo francés, Caza SPAD**

- Condiciones del aeroplano
- Contador de Gasolina
- Contador de balas
- Contador de impactos recibidos
- Posición
- Velocidad

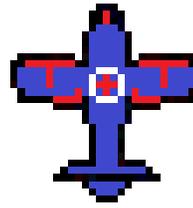


Figura 17. Enemigo británico, Biplano Anti-Zeppelin

**Objetos:**

La presente simulación cuenta con animaciones e imágenes que nos ayudan a representar los diferentes eventos en el entorno. Estos son principalmente explosiones, balas y frames de fondo.

- Posición
- Reducir Balas restantes
- Velocidad



Figura 18. Disparo (Aquí muestra un aumento en su tamaño por fines de visibilidad)

- Explosión activa
- Posición
- Balas necesarias
- Cambio de estado



Figura 19. Explosión de un avión.

- Frame siguiente
- Posición
- Tipo de Clima

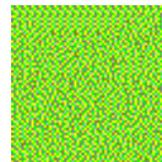


Figura 20. Clima Bueno, Hábitat sintético

- Frame siguiente
- Posición
- Tipo de Clima

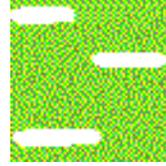


Figura 21. Clima Malo, *Hábitat sintético*

### Botones:

Los botones se representan mediante las figuras comunes de pausa y terminar y están representados con las siguientes imágenes, su función básica es para obtener una instantánea en tiempo real durante cinco segundos y terminar con la simulación después de cinco segundos, respectivamente.

- Botón Presionado
- Liberar
- Evento siguiente



Figura 22. Botón Pausa, *Hábitat sintético*

- Botón Presionado
- Liberar
- Evento siguiente

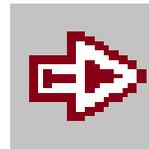


Figura 23. Botón Terminar, *Hábitat sintético*

### Indicadores:

Dentro de la simulación existen áreas en donde se muestra información de la iteración en proceso, son básicamente un contador de gasolina que disminuye en función del tiempo, un contador de balas que disminuye en función del número de disparos realizados, una variable que informa sobre el clima por el que atraviesa la simulación, una variable que muestra las condiciones del aeroplano, datos acerca del valor de las emociones que calcula el mapa cognitivo difuso y finalmente una variable que nos muestra el número de victorias. A continuación se muestran sus representaciones gráficas:

- Operaciones internas del *hábitat sintético*
- Muestra resultado
- Dato pausa/siguiente
- Gas inicial: 30lt
- Balas iniciales: 50
- Clima inicial: Bueno
- Avión: óptimo, regular, afectado e ineficiente.

**GAS: 24 BALAS: 48 CLIMA: MALO AVION: REGULAR**

Figura 24. Indicadores del *Hábitat Sintético*

- Resultados de las iteraciones del mapa cognitivo difuso.
- Muestra resultado
- Dato pausa/siguiente
- Temeridad: valor de 0 a 1
- Gloria: valor de 0 a 1

**TEMERIDAD GLORIA VICTORIAS:**  
**0.999953 0.000000 2**

Figura 25. Indicadores de emociones del ACBR.

## 7 Resultados

La ejecución de la presente simulación fue realizada mediante la implementación y sincronización de diferentes entidades de software, principalmente las mencionadas en los apartados 6.1, 6.2 y 6.6. Dicho trabajo nos condujo al diseño para la simulación del hábitat sintético del Barón Rojo afianzando el paso siguiente de la investigación descrita en el artículo [1] en que se apoya la presente investigación.

A continuación en la figura 27 mostramos la ejecución de un escenario de entrada en donde el barón rojo presenta un estado óptimo de combate con un estado emocional estable y con perfectas condiciones de vuelo.



Figura 26. Escenario (1) de entrada del Hábitat sintético del ACBR.

Este escenario de entrada muestra una salida con un resultado victorioso sin el mayor problema de ningún estilo, es decir tiene la confianza y la sensación de superioridad que lo caracterizó en sus combates, muestra de ello están las variables: temeridad y gloria casi con valor de 1. Aunque continua combatiendo a pesar de haber obtenido 12 victorias y de restarle poca gasolina. A continuación en la figura 27 mostramos la pantalla resultante.



Figura 27. Escenario (1) de salida del Hábitat sintético del ACBR.

## 8 Conclusiones

El objetivo principal de llevar a cabo una simulación virtual del entorno de combate del ACBR, para estudiar la relación que existe entre emociones y el comportamiento, nos condujo a un análisis que nos reveló conocimientos visuales y teóricos acerca de cómo el estado emocional afecta el comportamiento de un agente. La representación de una simulación con condiciones iniciales favorables, nos demostró que el ACBR mantiene una determinación y habilidad que le asegura salir victorioso en la mayoría de sus combates. Hemos recreado la conducta de una persona temeraria conocida como el Barón Rojo (victorioso en condiciones desfavorables). Hacemos énfasis en que la conducta del barón rojo era la de una personalidad temeraria y debido a esto aún con escenarios negativos salía venturoso, tal y como logramos comprobarlo a través del software de simulación.

El resultado de la presente investigación aporta conocimientos al campo de la computación afectiva y nos da una visión u hipótesis acerca de la fiabilidad de las interpretaciones de diferentes conductas mediante agentes y cómo las emociones afectan sus interacciones con el entorno.

## 9 Referencias bibliográficas

- [1] A. Laureano-Cruces, C. Guadarrama-Ponce, M. Mora-Torres, J. Ramírez-Rodríguez, "A Cognitive Model for the Red Baron: a Perspective Taking into Account Emotions" *Journal of Artificial Intelligence and Machine Learning AIML*, Vol. 11, No. 2, pp 5-13, 2011.
- [2] A. Ortony, G. Clore and A. Collins, *La estructura cognitiva de las emociones*. Madrid: Siglo Veintiuno Editores, 1996.
- [3] R. Picard, *Affective Computing*. MIT Press. Cambridge, 1997.
- [4] D. Hernández-González, A. Laureano-Cruces, "Influencia de las emociones en el proceso de toma de decisiones", 2011 [http://ce.azc.uam.mx/profesores/clc/02\\_publicaciones/tesis\\_dirigidas/Tesis\\_DEHG.pdf](http://ce.azc.uam.mx/profesores/clc/02_publicaciones/tesis_dirigidas/Tesis_DEHG.pdf)
- [5] A. Peña-Ayala, "Un modelo del estudiante basado en mapas cognitivos", Tesis de nivel posgrado, 2008. [En línea]. Disponible: <http://tesis.ipn.mx:8080/xmlui/handle/123456789/634>. [Consultado: 20- Jun- 2017].
- [6] 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.
- [7] A. L. Laureano-Cruces, D. Acevedo-Moreno, M. Mora-Torres, J. Ramírez-Rodríguez, "A Reactive Behavior Agent: including emotions for a video game", *Journal of Applied Research and Technology*. Vol. 10, No. 5, pp 651-672, 2012.
- [8] E. Miranda-Rochin "Simulación dinámica en el proceso de toma de decisiones en una sociedad multiagente", proyecto terminal, División de Ciencias Básicas e Ingeniería, Licenciatura en Computación, Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, D.F., México, 2016.
- [9] T. Orlando, "Clasificación de las emociones en el habla en español", proyecto terminal, División de Ciencias Básicas e Ingeniería, Licenciatura en Computación, Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa, D.F., México, 2007.
- [10] J. O. Ávila Romero, "Simulación de tránsito vehicular dentro de una glorieta usando autómatas celulares" proyecto terminal, División de Ciencias Básicas e Ingeniería, Licenciatura en Computación, Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, D.F., México, 2009.
- [11] 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.
- [12] 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. [En línea]. Disponible: <http://bibliotecacentral.unam.mx/tesis.html>, 2007. [Consultado: 20- Jun- 2017].
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] A. Laureano-Cruces and D. Verdugo-Palencia, "Simulación de un juego de fútbol 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.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] M. Mora-Torres, A. Laureano-Cruces, P. Velasco-Santos, "Estructura de la emociones dentro de un proceso enseñanza-aprendizaje", Perfiles Educativos IISUE-UNAM, vol. 33, no. 131,2011.
- [20] M. A. F. Von Richthofen. The Red Fighter Pilot. Estados Unidos: Red and Black Publishers, 2013.
- [21] D. Luckham: The Power of Events - An Introduction to Complex Event Processing in Distributed Enterprise Systems, US: Addison-Wesley, 2002.
- [22] M. Mora Torres, D. Hernández González, A. Laureano Cruces and J. Ramírez Rodríguez, Programa de Evaluación de Mapas Cognitivos Difusos. D.F., México.

## 10 Apéndice

### 10.1 Simple Direct Media Layer (SDL); ejemplo de una aplicación.

Uno de los ejemplos más representativos, del desarrollo de interfaces gráficas con la tecnología SDL, lo encontramos en el video juego para PC “Trine” que básicamente es un escenario de fantasía virtual en la edad media que permite a los jugadores tomar el control de tres personajes separados que pueden luchar contra enemigos y resolver rompecabezas ambientales. Podemos observar su ambiente gráfico en la figura 15.



**Figura 15. Ejemplo de un entorno gráfico utilizando la tecnología SDL.**