



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

Razonamiento Automático

Lógica difusa

Eva Suárez García
eva.suarez.garcia@udc.es

Rafael Alcalde Azpiazu
rafael.alcalde.azpiazu@udc.es

Iago Otero Coto
iago.oteroc@udc.es

Manuel José Rivas Fariñas
manuel.rivasf@udc.es

3º Grado en Ingeniería Informática
Mención de Computación

A Coruña - 24 de mayo de 2017

Índice

1. Introducción	1
2. Objetivos	1
3. Fundamentos de los sistemas difusos.	2
3.1. Introducción	2
3.2. Teoría de conjuntos difusos	2
3.3. Inferencia en lógica difusa	5
3.4. Sistemas de lógica difusa	6
4. Metodología.	8
4.1. Definición de variables	8
4.2. Precondiciones de las variables.	9
4.3. Representación gráfica de las variables.	9
4.3.1. Variables de entrada	10
4.3.2. Variables de salida	11
4.4. Definición de criterios y reglas.	11
5. Casos de uso	15
6. Discusión y conclusiones	20
7. Referencias	21

1. Introducción

En el presente documento procedemos a mostrar el desarrollo y los resultados de nuestro trabajo sobre Sistemas de Lógica Difusa para la asignatura de Representación del Conocimiento y Razonamiento Automático. Comenzaremos por exponer, de manera superficial, los objetivos del sistema a desarrollar, y daremos unas breves nociones sobre los fundamentos de la Lógica Difusa. A continuación expondremos de manera más concreta el problema a resolver, así como las diversas cuestiones y problemas que tuvimos que solventar. Cerraremos esta memoria mostrando algunos casos de uso del sistema y una serie de conclusiones.

2. Objetivos

El objetivo de esta práctica es desarrollar un sistema que sea capaz de decidir, en el contexto de un videojuego de combate 1 vs. 1 por turnos, cuál de las acciones disponibles es más apropiada en un momento dado valiéndose de Lógica Difusa. Dado este entorno, se entiende que en cada instante habrá dos personajes implicados: el controlado por el Sistema de Lógica Difusa, y su adversario (posiblemente controlado por un jugador). Cada uno de los personajes puede realizar una serie de acciones distintas. El objetivo es reducir la vida (representación de la capacidad de un personaje para continuar luchando) del contrario a 0 para ganar el combate. En concreto, consideraremos el caso en el que nuestro personaje tiene tres posibles acciones: atacar, curarse y defenderse. Además consideramos que nuestra acción se realiza antes que la del adversario. A la hora de tomar las decisiones, nos valdremos de datos de entrada tales como la vida esperada después de realizar una determinada acción, el daño que el personaje puede causar, o la precisión de su ataque.

3. Fundamentos de los sistemas difusos.

3.1. Introducción

En los últimos años se han consolidado y aumentado las aplicaciones de la lógica difusa, abarcando sectores tan diversos como puede ser el control industrial, las búsquedas en bases de datos o estrategias de mantenimiento entre otros.

Como explican Carlos González [1] y Oscar G. et al. [2], las principales razones para tal proliferación de aplicaciones quizás sean la sencillez conceptual de los Sistemas basados en Lógica Difusa, su facilidad para adaptarse a casos particulares con pocas variaciones de parámetros, su habilidad para combinar en forma unificada expresiones lingüísticas con datos numéricos, el no requerir de algoritmos muy sofisticados para su implementación o la automatización de tareas utilizando conocimiento experto.

La lógica tradicional (así como la teoría de conjuntos y el álgebra booleana) son isomorfismos¹, bajo transformaciones adecuadas, es decir, tienen una estructura similar, lo cual significa que las definiciones hechas para cualquiera de las tres teorías se pueden llevar a las otras dos a través de transformaciones sencillas, mediante la correspondencia de operadores que se muestra en la *tabla 1*.

Teoría de conjuntos	Álgebra booleana	Lógica tradicional
Intersección	Conjunción	AND
Unión	Disyunción	OR
Complemento	Negación	NOT

Tabla 1: Correspondencia entre operadores de la Teoría de Conjuntos, el Álgebra Booleana y la Lógica Tradicional.

3.2. Teoría de conjuntos difusos

Antes de comenzar con la definición de Conjuntos Difusos, veamos cómo se definen los conjuntos convencionales (Conjuntos Concretos).

Un conjunto concreto se define como una colección de elementos que existen dentro de un Universo. Así, dado el universo U que consta de los números enteros no negativos menores que 10:

$$U = \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9\}$$

¹<http://matematica.laguia2000.com/general/isomorfismo>

podemos definir algunos conjuntos como

$$A = \{0, 2, 4, 6, 8\},$$

$$B = \{1, 3, 5, 7, 9\},$$

$$C = \{1, 4, 7\} \dots$$

De esta forma, hemos establecido a qué conjuntos pertenecen cada uno de los elementos del universo U . Cada uno de estos conjuntos queda perfectamente definido si utilizamos una función de pertenencia ($\mu(x)$) sobre los elementos del universo U de forma que a cada elemento de U se le asigna un valor 1 o 0 en función de si pertenece o no a dicho conjunto.

Oscar G. et al. [2] nos plantean la siguiente función de pertenencia que define el conjunto C

$$\mu_C(0) = 0;$$

$$\mu_C(1) = 1;$$

$$\mu_C(2) = 0;$$

$$\mu_C(3) = 0;$$

$$\mu_C(4) = 1;$$

$$\mu_C(5) = 0;$$

$$\mu_C(6) = 0;$$

$$\mu_C(7) = 1;$$

$$\mu_C(8) = 0;$$

$$\mu_C(9) = 0;$$

Un Conjunto difuso se define de forma similar, con una diferencia conceptual importante: un elemento puede pertenecer parcialmente a un conjunto.

Continuemos con el universo U que definimos anteriormente. Un conjunto difuso D definido sobre dicho universo podría ser el siguiente:

$$C = \{0.2/1, 0.5/4, 1/7\}$$

Con esta definición, estamos representando que el elemento 1 pertenece en un 20 % al conjunto C (y por tanto pertenece en un 80 % al complemento de C), mientras que el elemento 4 pertenece en un 50 %, y el elemento 7 en un 100 % .

De igual forma que con los Conjuntos Concretos, podemos definir una función de pertenencia $\mu_C(x)$:

$$\mu_C(0) = 0.0;$$

$$\mu_C(1) = 0.2;$$

$$\mu_C(2) = 0.0;$$

$$\mu_C(3) = 0.0;$$

$$\mu_C(4) = 0.5;$$

$$\mu_C(5) = 0.0;$$

$$\mu_C(6) = 0.0;$$

$$\mu_C(7) = 1.0;$$

$$\mu_C(8) = 0.0;$$

$$\mu_C(9) = 0.0;$$

Como podemos ver, hay algunas diferencias sustanciales entre los Conjuntos Difusos y los Conjuntos Concretos:

- La función de pertenencia asociada a los Conjuntos Concretos sólo puede tener dos valores: 1 ó 0, mientras que en los conjuntos difusos puede tener cualquier valor entre 0 y 1.
- Un elemento puede pertenecer (parcialmente) a un conjunto difuso y simultáneamente pertenecer (parcialmente) al complemento de dicho conjunto. Esto no es posible en los conjuntos concretos, ya que constituiría una violación al *principio del tercero excluido*.²
- Las fronteras de un conjunto concreto son exactas, en tanto que las de un conjunto difuso son, precisamente, difusas, ya que existen elementos en las fronteras mismas, y estos elementos están a la vez dentro y fuera del conjunto.

No obstante, debemos tener en cuenta que:

- Los Conjuntos Concretos son un caso particular de los Conjuntos Difusos.
- Cualquier conjunto es difuminable.

En el mundo real, el hecho de que un elemento pueda pertenecer parcialmente a un conjunto tiene numerosas ventajas, veamos un ejemplo:

Ejemplo 1: Supóngase que se desea clasificar a los miembros de un equipo de fútbol según su estatura en tres conjuntos, Bajos, Medianos y Altos. Podría plantearse que se es Bajo si se tiene una estatura inferior a, por ejemplo, 160 cm, que se es Mediano si la estatura es superior o igual a 160 cm e inferior a 180 cm, y se es alto si la estatura es superior o igual a 180 cm, con lo que se lograría una clasificación en conjuntos concretos.

Sin embargo, ¿es tan significativa la diferencia entre un jugador con estatura 179.9 cm y otro de 180 cm? ¿Ese milímetro representa una diferencia tan significativa que tenemos que clasificar a los jugadores en dos conjuntos distintos? Utilizando Conjuntos Concretos uno es alto y otro es mediano.

Si se optase por efectuar la misma clasificación con conjuntos difusos estos cambios abruptos se evitarían, debido a que las fronteras entre los conjuntos permitirían cambios graduales en la clasificación.

²https://es.wikipedia.org/wiki/Principio_del_tercero_excluido

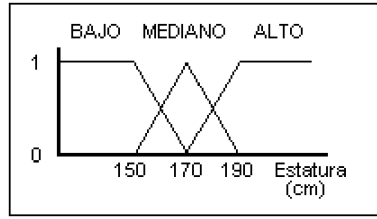
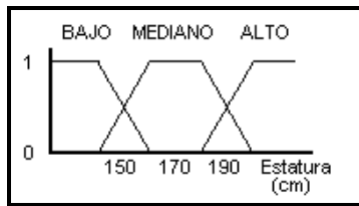
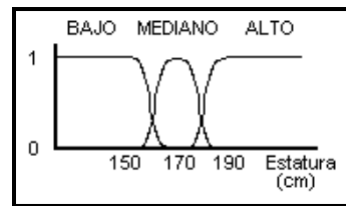


Figura 1: Funciones de pertenencia del ejemplo 1

La *figura 1* muestra cómo podría hacerse dicha clasificación: el universo de discurso sería el conjunto continuo de todas las posibles estaturas (el intervalo $[130,210]$ cm por ejemplo).



(a) Representación alternativa del ejemplo 1



(b) Representación alternativa del ejemplo 1

La forma de estas funciones de pertenencia no debe ser necesariamente la de la *figura 1*, pues depende de lo que se entienda por “Bajo”, “Mediano” y “Alto”. En las *figuras 2a y 2b* podemos ver otras alternativas para representar dichas funciones.

3.3. Inferencia en lógica difusa

La Inferencia lógica consiste en la combinación de proposiciones para producir nuevas proposiciones. Así, al combinar la proposición “X es A” con la proposición “IF X es A THEN Y es B”, se puede inferir la proposición “Y es B” (ver *figura 3*).

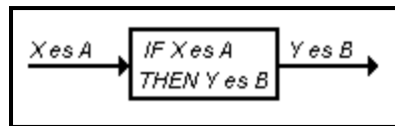


Figura 3: Inferencia en lógica tradicional.

Una inferencia como ésta sólo es posible en la lógica tradicional si la primera proposición (“X es A”) es idéntica a la primera parte de la segunda proposición (“(IF) X es A”); sin embargo, en la lógica difusa estas dos proposiciones no deben ser necesariamente idénticas, debido a que las fronteras de los conjuntos no son precisas. Así, al combinar la proposición “X es A*” con la proposición “IF X es A THEN Y es B”, puede obtenerse la proposición “Y es B*” (ver *figura 4*).

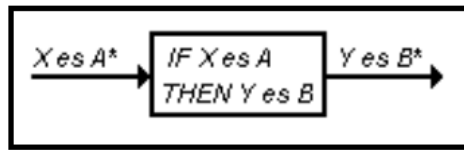


Figura 4: Inferencia en lógica difusa.

En la *figura 5* podemos ver los mecanismos de Inferencia en Lógica Difusa ³

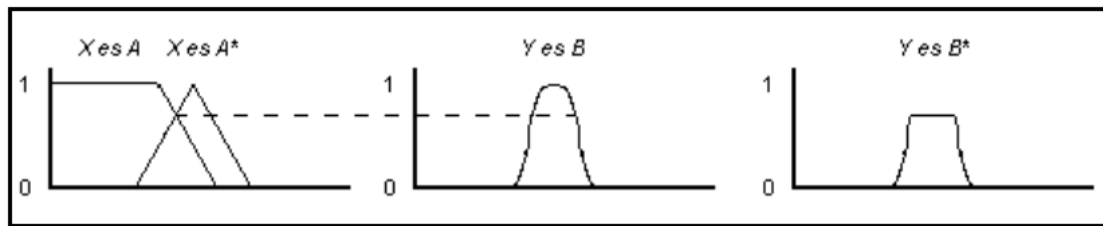


Figura 5: Representación gráfica de los mecanismos de Inferencia en Lógica Difusa

3.4. Sistemas de lógica difusa

Los mecanismos de Inferencia permiten simular el proceso de decisión humano utilizando implicaciones difusas y reglas de inferencia de lógica difusa. Un Sistema de Lógica Difusa aprovecha estos mecanismos como motor de cálculo de un sistema cuyas entradas y salidas son números concretos.

En la *figura 6* podemos ver la estructura básica de un Sistema de Lógica difusa. El sistema recibe varias entradas numéricas y entrega varias salidas numéricas. El bloque Difusor se encarga de convertir las entradas numéricas no difusas en datos difusos, las cuales indican su grado de pertenencia a cada conjunto. Estos datos son entregados al bloque Máquina de Inferencia que, utilizando las reglas de la forma IF... THEN... almacenadas en la Base de Reglas, produce una o más salidas difusas para que el bloque Concretor las convierta en salidas numéricas concretas.

³<http://www.cs.princeton.edu/courses/archive/fall07/cos436/HIDDEN/Knapp/fuzzy004.htm>

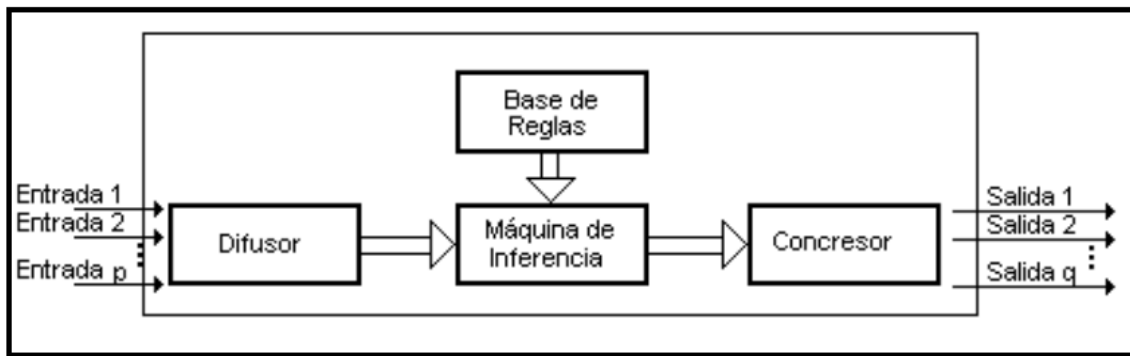


Figura 6: Estructura de un Sistema de Lógica Difusa

Cada una de las variables de entrada y de salida tiene una representación dentro del Sistema de Lógica Difusa en forma de Variables Lingüísticas. Una variable lingüística tiene, entre otras cosas, una colección de valores que puede adquirir la variable, y cada valor está representado por un conjunto difuso. Así, retomando el ejemplo de la *figura 1*, la variable Estatura tendría tres valores, Bajo, Mediano y Alto, y cada uno de estos valores estaría representado por el conjunto difuso respectivo de la *figura 1*. Estos valores reciben el nombre de Valores Lingüísticos.

4. Metodología.

4.1. Definición de variables

Teniendo en cuenta la explicación proporcionada en el apartado 2, podemos establecer que nuestro sistema contará con tres variables de salida: una para indicar la adecuación de atacar (a la que nos referiremos simplemente como *Atacar* de ahora en adelante), una para indicar la adecuación de curarse (*Curación*) y una última para la adecuación de defenderse (*Defensa*). Empecemos por plantear los factores que afectan a cada una de estas variables de manera más directa:

- *Atacar*: está condicionada por el daño que podemos causar a nuestro adversario, la vida con la que esperamos quedarnos si decidimos realizar esta acción y la probabilidad de acertar nuestro golpe o precisión.
- *Defensa*: está condicionada, en principio, por la vida con la que esperaríamos quedarnos al realizar esta acción.
- *Curación*: se encuentra en la misma situación que Defensa, depende de la vida con la que se quedaría el personaje si realizara esta acción.

Dadas estas consideraciones, podemos establecer las siguientes variables de entrada:

- *Vida restante después de atacar (VRA, para abreviar)*: Proporción de vida esperada del personaje controlado por el sistema de lógica difusa si éste decidiera atacar, con valores entre $[0, 1]$. Hay distintas formas en las que se podría calcular el valor de esta variable, y dependería del criterio de quien utilizara el sistema difuso. Por ejemplo, podría utilizarse la vida esperada en el peor, lo que conllevaría una estrategia más conservadora, pero también podría utilizarse una estimación del caso más probable, el mejor y el peor. En cualquier caso, el método elegido para calcular este valor no es competencia de nuestro sistema.
- *DAÑO*: Proporción de vida perdida por el enemigo al recibir el ataque, entre $[0, 1]$.
- *Precisión (PREC)*: Probabilidad de que nuestro ataque acierte al enemigo, entre $[0, 1]$.
- *Vida restante después de defenderse (VRD)*: Proporción de vida esperada del personaje controlado por el sistema de lógica difusa si éste decidiera defenderse, entre $[0, 1]$. Se le aplica lo mismo que a VRA.
- *Vida restante después de curarse (VRC)*: Proporción de vida esperada del personaje controlado por el sistema de lógica difusa si éste decidiera curarse, entre $[0, 1]$. Se le aplica lo mismo que a VRA.

La razón de que estas variables sean estimaciones es porque en el cálculo de su valor de entrada pueden tenerse en cuenta diversos factores como considerar que el enemigo decida defenderse, o bien cuán probable sería hacer más daño del normal al atacar (lo que se conoce como golpe crítico).

Por otro lado, es conveniente poder determinar cuándo se espera que uno de los combatientes sobreviva y cuándo no. Por ello tenemos:

- *El enemigo sobrevive (ES)*: Indica de manera categórica si el enemigo sobrevive al ataque teniendo en cuenta los datos proporcionados.
- *El personaje sobrevive (PS)*: Indica de manera categórica si el personaje controlado por el sistema sobrevive en caso de que decidiera atacar teniendo en cuenta los datos proporcionados.

4.2. Precondiciones de las variables.

Existen una serie de requisitos que deben cumplir las variables de entrada para garantizar que el sistema puede trabajar correctamente.

- La Vida restante después de curarse (VRC) y la Vida restante después de defenderse (VRD) deben ser siempre mayores o iguales a la Vida restante después de atacar (VRA). Esto se debe a que, de otro modo, las acciones Defensa y Curación perderían sentido ya que se utilizan para perder menos vida, y se estaría perdiendo más.
- El DAÑO realizado al enemigo se entiende que siempre es mayor que cero, ya que en este tipo de juegos no se suele permitir un daño nulo.
- Si el Personaje Sobrevive ($PS = \text{sí}$), se entiende que la Vida restante después de atacar (VRA) tiene que ser mayor que cero. Y al contrario, si $PS = \text{no}$, $VRA = 0$.

4.3. Representación gráfica de las variables.

A continuación mostramos gráficamente cómo han quedado las variables de entrada y salida una vez difuminadas.

4.3.1. Variables de entrada

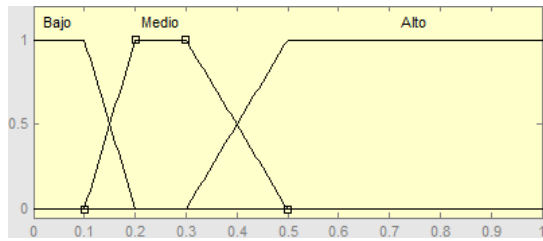


Figura 7: DAÑO

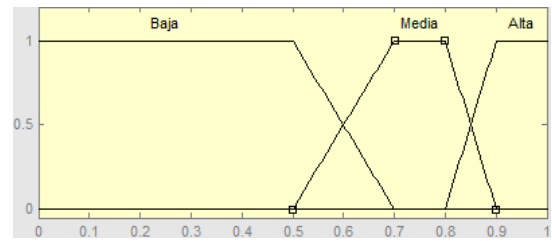


Figura 8: PREC

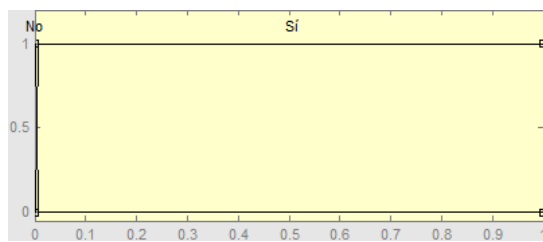


Figura 9: ES

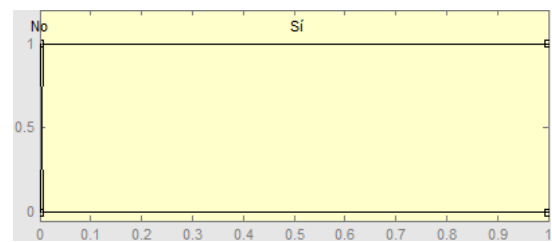


Figura 10: PS

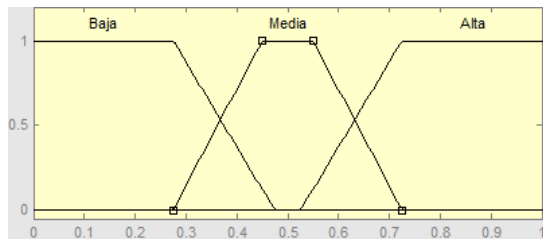


Figura 11: VRA

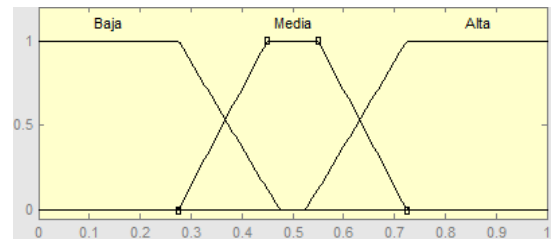


Figura 12: VRC

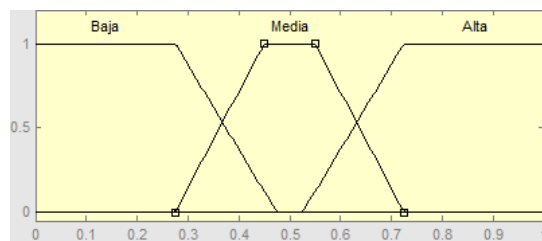


Figura 13: VRD

4.3.2. Variables de salida

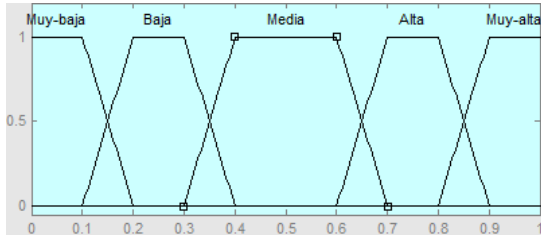


Figura 14: Ataque

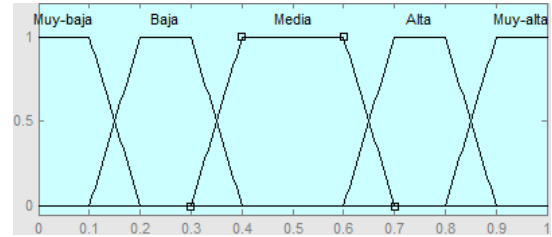


Figura 15: Defensa

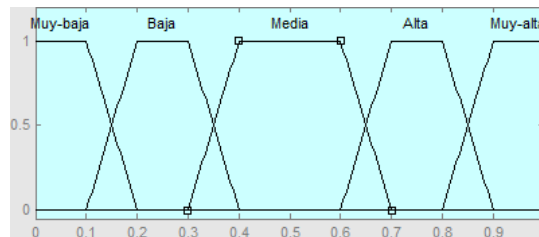


Figura 16: Curación

4.4. Definición de criterios y reglas.

Para la creación de las reglas hemos optado por una estrategia ofensiva en la que se tiende a priorizar el ataque sobre las otras acciones, que van adquiriendo relevancia cuando la situación se vuelve desfavorable para el personaje (vida baja, el personaje no sobrevive al próximo ataque enemigo...). En estos casos, la adecuación del ataque va bajando en favor de la curación y la defensa. Para discernir entre estas dos últimas, nos basamos en cuál de ellas nos va a dejar en una situación más ventajosa, es decir, cuál nos permitirá terminar el turno con más vida.

Llegados a este punto, el lector podría estar preguntándose qué sucede si, por ejemplo, el próximo ataque enemigo podría dejar al personaje con baja vida, pero en el momento de hacer los cálculos la vida del personaje es alta. ¿Daría esto prioridad a la curación cuando en verdad sería una curación “desperdiciada” porque la vida ya era alta? No necesariamente. Teniendo en cuenta que nuestra acción va antes que la del adversario y que siempre se considera la vida esperada para cada acción al final del turno, una curación en estas condiciones resultaría en una vida restante tras curarse igual o muy similar a la de atacar, lo que impediría que cobrase una relevancia que no le corresponde.

El mismo tipo de razonamiento puede ser aplicado a casos similares, y ha sido la forma de pensar en el momento de elaborar las reglas.

1. If PREC is Alta and ES is No then Curación is Muy-baja, Defensa is Muy-baja, Ataque is Muy-alta

2. If PREC is Media and ES is No then Curación is Baja, Defensa is Baja, Ataque is Muy-alta
3. If VRC is Alta and VRD is Media and PS is No then Curación is Muy-alta, Defensa is Alta, Ataque is Muy-baja
4. If VRC is Alta and VRD is Baja and PS is No then Curación is Muy-alta, Defensa is Media, Ataque is Muy-baja
5. If VRC is Media and VRD is Baja and PS is No then Curación is Alta, Defensa is Media, Ataque is Muy-baja
6. If VRC is Baja and VRD is Media and PS is No then Curación is Media, Defensa is Alta, Ataque is Muy-baja
7. If VRC is Baja and VRD is Alta and PS is No then Curación is Media, Defensa is Muy-alta, Ataque is Muy-baja
8. If VRC is Media and VRD is Alta and PS is No then Curación is Alta, Defensa is Muy-alta, Ataque is Muy-baja
9. If VRC is Baja and VRD is Baja and PS is No then Curación is Media, Defensa is Media, Ataque is Muy-baja
10. If VRC is Media and VRD is Media and PS is No then Curación is Alta, Defensa is Alta, Ataque is Muy-baja
11. If VRC is Alta and VRD is Alta and PS is No then Curación is Muy-alta, Defensa is Muy-alta, Ataque is Muy-baja
12. If PREC is Alta and DAÑO is Alto and ES is Sí and PS is Sí then Curación is Muy-baja, Defensa is Muy-baja, Ataque is Muy-alta
13. If PREC is Media and DAÑO is Alto and ES is Sí and PS is Sí then Curación is Muy-baja, Defensa is Muy-baja, Ataque is Muy-alta
14. If PREC is Media and DAÑO is Medio and ES is Sí and PS is Sí then Curación is Muy-baja, Defensa is Muy-baja, Ataque is Muy-alta
15. If PREC is Alta and DAÑO is Medio and ES is Sí and PS is Sí then Curación is Muy-baja, Defensa is Muy-baja, Ataque is Muy-alta
16. If PREC is Alta and VRA is Alta and DAÑO is Bajo and ES is Sí and PS is Sí then Curación is Muy-baja, Defensa is Muy-baja, Ataque is

Alta

17. If PREC is Media and VRA is Alta and DAÑO is Bajo and ES is Sí and PS is Sí then Curación is Muy-baja, Defensa is Muy-baja, Ataque is Alta

18. If PREC is Alta and VRA is Media and DAÑO is Bajo and ES is Sí and PS is Sí then Curación is Baja, Defensa is Baja, Ataque is Alta

19. If PREC is Media and VRA is Media and DAÑO is Bajo and ES is Sí and PS is Sí then Curación is Baja, Defensa is Baja, Ataque is Media

20. If PREC is Baja and VRA is Alta and ES is Sí and PS is Sí then Curación is Baja, Defensa is Baja, Ataque is Media

21. If PREC is Baja and VRA is Media and ES is Sí and PS is Sí then Curación is Baja, Defensa is Baja, Ataque is Media

22. If VRC is Baja and VRD is Baja and VRA is Baja and ES is Sí and PS is Sí then Curación is Baja, Defensa is Baja, Ataque is Media

23. If VRC is Media and VRD is Baja and VRA is Baja and ES is Sí and PS is Sí then Curación is Media, Defensa is Baja, Ataque is Baja

24. If VRC is Alta and VRD is Baja and VRA is Baja and ES is Sí and PS is Sí then Curación is Alta, Defensa is Baja, Ataque is Baja

25. If VRC is Baja and VRD is Media and VRA is Baja and ES is Sí and PS is Sí then Curación is Baja, Defensa is Media, Ataque is Baja

26. If VRC is Media and VRD is Media and VRA is Baja and ES is Sí and PS is Sí then Curación is Media, Defensa is Media, Ataque is Baja

27. If VRC is Alta and VRD is Media and VRA is Baja and ES is Sí and PS is Sí then Curación is Alta, Defensa is Media, Ataque is Baja

28. If VRC is Baja and VRD is Alta and VRA is Baja and ES is Sí and PS is Sí then Curación is Baja, Defensa is Alta, Ataque is Baja

29. If VRC is Media and VRD is Alta and VRA is Baja and ES is Sí and PS is Sí then Curación is Media, Defensa is Alta, Ataque is Baja

30. If VRC is Alta and VRD is Alta and VRA is Baja and ES is Sí and PS is Sí then Curación is Alta, Defensa is Alta, Ataque is

31. If VRC is Baja and PREC is Baja and VRD is Baja and ES is No and PS is Sí then Curación is Baja, Defensa is Baja, Ataque is Media
32. If VRC is Media and PREC is Baja and VRD is Baja and ES is No and PS is Sí then Curación is Media, Defensa is Baja, Ataque is Baja
33. If VRC is Alta and PREC is Baja and VRD is Baja and ES is No and PS is Sí then Curación is Alta, Defensa is Baja, Ataque is Baja
34. If VRC is Baja and PREC is Baja and VRD is Media and ES is No and PS is Sí then Curación is Baja, Defensa is Media, Ataque is Baja
35. If VRC is Media and PREC is Baja and VRD is Media and ES is No and PS is Sí then Curación is Media, Defensa is Media, Ataque is Baja
36. If VRC is Alta and PREC is Baja and VRD is Media and ES is No and PS is Sí then Curación is Alta, Defensa is Media, Ataque is Baja
37. If VRC is Baja and PREC is Baja and VRD is Alta and ES is No and PS is Sí then Curación is Baja, Defensa is Alta, Ataque is Baja
38. If VRC is Media and PREC is Baja and VRD is Alta and ES is No and PS is Sí then Curación is Media, Defensa is Alta, Ataque is Baja
39. If VRC is Alta and PREC is Baja and VRD is Alta and ES is No and PS is Sí then Curación is Alta, Defensa is Alta, Ataque is Baja

A continuación mostramos un par de ejemplos de cómo las variables de salida van variando en base a datos de entrada. En concreto, podemos ver la variación de la adecuación del ataque en base al daño y la precisión, y la variación de la adecuación de la curación en función de la vida restante después de atacar y la vida restante después de curarse.

5. Casos de uso

Para comprobar el correcto funcionamiento del sistema desarrollado, hemos establecido una serie de casos de prueba representativos que se muestran a continuación⁴:

Hemos elegido dividirlos en tres grupos:

1. El enemigo no sobrevive al ataque.
2. El enemigo sobrevive al ataque pero nuestro personaje no.
3. El enemigo sobrevive y nuestro personaje también.

1. En el primer grupo, hemos elegido dos casos representativos, uno de los cuales se subdivide:

- 1.1. La precisión es media-alta. Teniendo esto en cuenta, es fácil decidir que lo mejor es atacar, ya que el enemigo es muy probable que no sobreviva al ataque y por tanto el combate terminaría en una victoria. Como se puede observar en la tabla, el sistema devuelve un resultado coherente con el anterior razonamiento, dándole al Ataque una adecuación del 0,915, mientras que a Curación y Defensa solamente un 0,189.
- 1.2. La precisión es baja. En este caso debemos fijarnos en si el personaje sobreviviría o no al fallar el ataque, por lo que dividimos este caso en dos subcasos:
 - a) El personaje sobrevive. Sabiendo esto, debemos comprobar la vida restante al defenderse y al curarse. Si suponen una mejora lo suficientemente importante, la Curación o la Defensa tendrán más adecuación que el Ataque. Se puede observar que los resultados arrojados por el sistema son coherentes.
 - b) El personaje no sobrevive. Como es lógico, en este caso debemos pensar en Curación y Defensa como las opciones más viables y optar por una o la otra en función de la vida restante al realizar cada una de ellas. De nuevo, el sistema devuelve unos resultados razonables.

										Caso de prueba
ES	PS	PREC	VRA	DAÑO	VRC	VRD	Curación	Defensa	Ataque	
No	NI	Media-alta	NI	NI	NI	NI	0,189	0,189	0,915	1.1
	Sí	Baja			Media-alta	Baja-media	0,594	0,396	0,250	1.2.a
					Baja-media	Baja-media	0,396	0,396	0,404	
	No				Media-alta	Baja-media	0,665	0,596	0,084	1.2.b
					Baja-media	Baja-media	0,582	0,582	0,084	

Figura 17: Casos de prueba 1

⁴Se indica el valor de cada variable de entrada o "NI" si la variable no influye en ese caso de prueba.

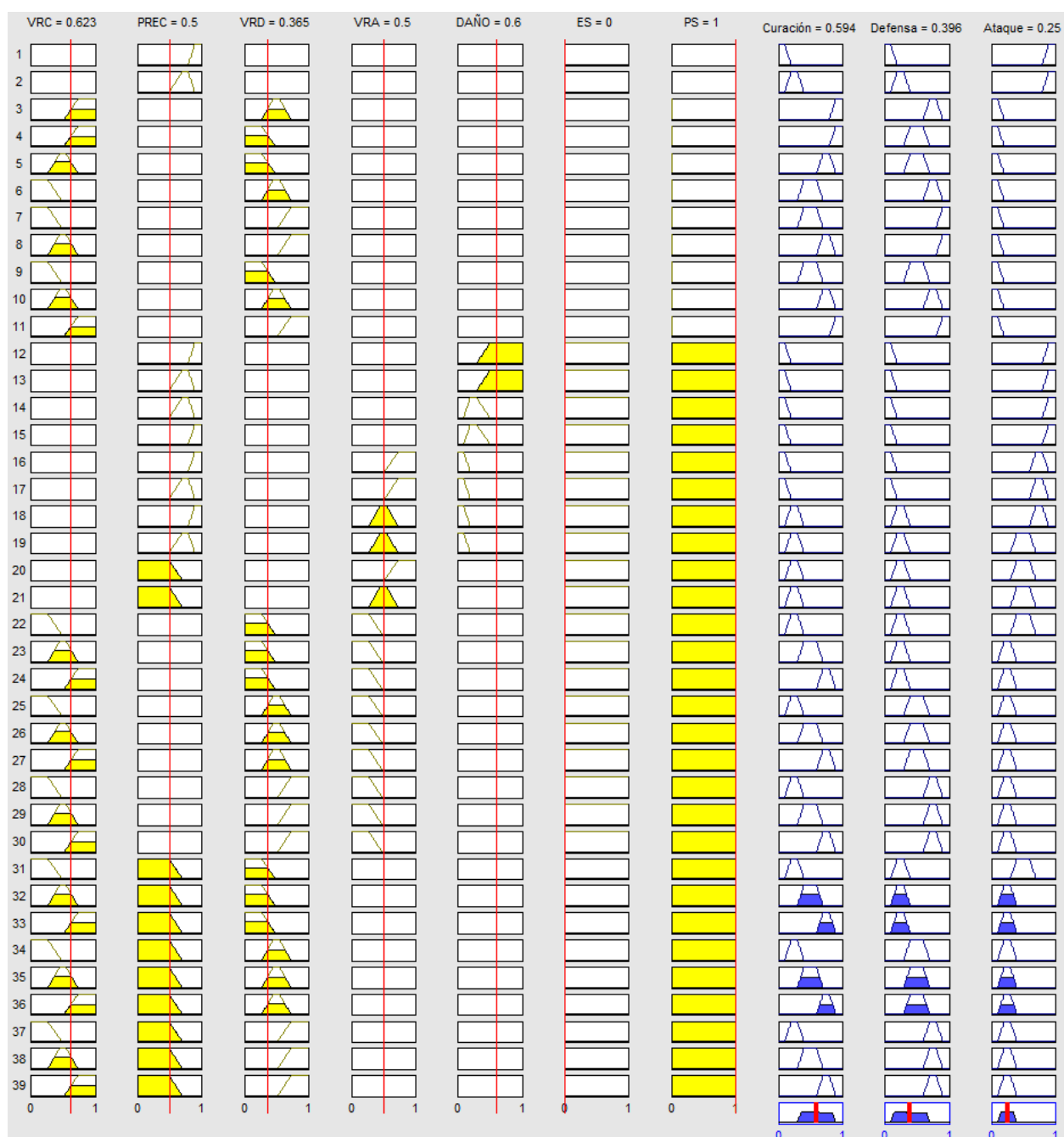


Figura 18: Ejemplo de ejecución para el caso de uso 1.2.a

2. El segundo grupo se asemeja al caso 1.2.b del primer grupo. Nuestro personaje no sobrevive al ataque, por lo que debe centrarse en Curación o Defensa. Igual que en el 2.b, debemos decidir en función de la vida restante, y seguimos obteniendo resultados lógicos.

ES	PS	PREC	VRA	DAÑO	VRC	VRD	Curación	Defensa	Ataque	Caso de prueba
Sí	No	NI	NI	NI	Baja-media	Alta	0,612	0,917	0,083	2
					Media	Baja	0,750	0,500	0,075	

Figura 19: Casos de prueba 2

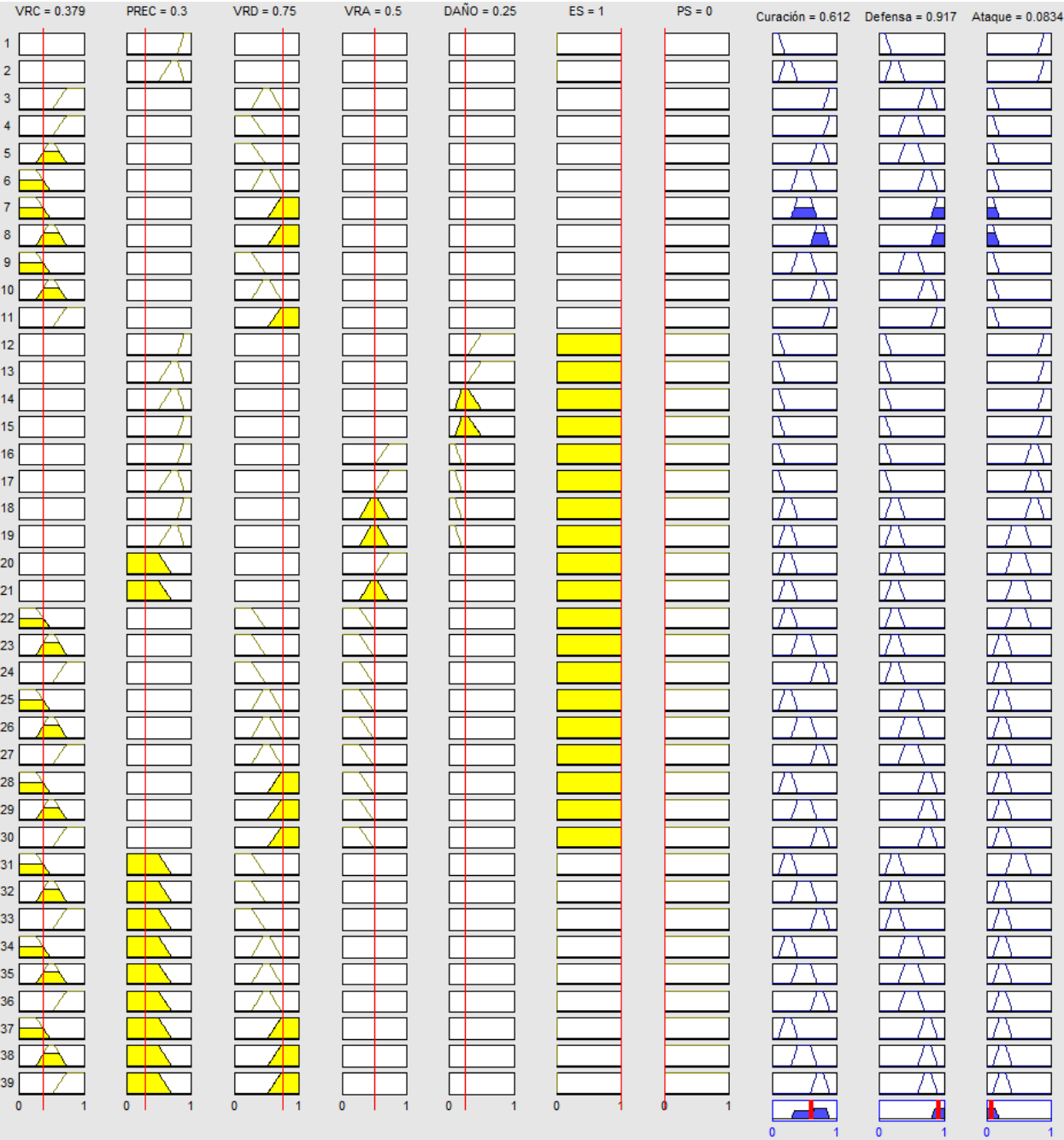


Figura 20: Ejemplo de ejecución para el caso de uso 2

3. El último grupo es algo más complicado, ya que se deben tener en cuenta más factores para poder realizar una acción óptima, como el daño que vamos a realizar y la vida restante después de realizar un ataque. Podemos distinguir dos casos representativos, que a su vez se dividen en subcasos:
 - 3.1. La vida restante del personaje después de atacar es media-alta. Podemos centrarnos ahora en decidir con cuánta adecuación atacamos, ya que la Curación y Defensa nos privarían de una buena oportunidad para atacar:
 - a) La precisión es media-alta. Para tener un mejor criterio, nos ayudamos de la variable de entrada DAÑO. Con un daño medio-alto, la adecuación del Ataque debe ser muy alta y la de Curación y Defensa muy baja. Con un daño bajo, el Ataque seguiría siendo una buena opción aunque con peor adecuación. Los resultados al establecer estos datos en el sistema, concuerdan con el razonamiento que hemos llevado a cabo.
 - b) La precisión es baja. En este caso no es necesario tener en cuenta ninguna otra variable. El Ataque es medianamente adecuado y la Curación y Defensa deben ganar algo de adecuación, aunque sin superar el Ataque. Como podemos observar, los datos obtenidos vuelven a ser razonables.
 - 3.2. La vida restante del personaje después de atacar es baja. Debemos tener cuidado, por lo que decidimos la adecuación de las tres opciones en función de la vida restante después de curarse y después de defenderse. Si ambas son tan bajas como la vida restante después de atacar, el ataque es la mejor opción. Sin embargo, en caso contrario, la adecuación será mayor para Curarse o Defenderse, dependiendo de la cantidad de vida restante en cada caso. Los resultados del sistema siguen, de nuevo, el razonamiento llevado a cabo.

ES	PS	PREC	VRA	DAÑO	VRC	VRD	Curación	Defensa	Ataque	Caso de prueba
Sí	Sí	Medio-alto	Media-alta	Medio-alto	NI	NI	0,082	0,082	0,917	3.1.a
		Bajo		0,190			0,190	0,623		
		Bajo	Baja	NI	NI	NI	0,250	0,250	0,500	3.1.b
		NI		NI	Bajo	Bajo	0,250	0,250	0,500	3.2
					Bajo	Alta	0,250	0,750	0,250	
					Media-alta	Media-alta	0,612	0,612	0,250	

Figura 21: Casos de prueba 3

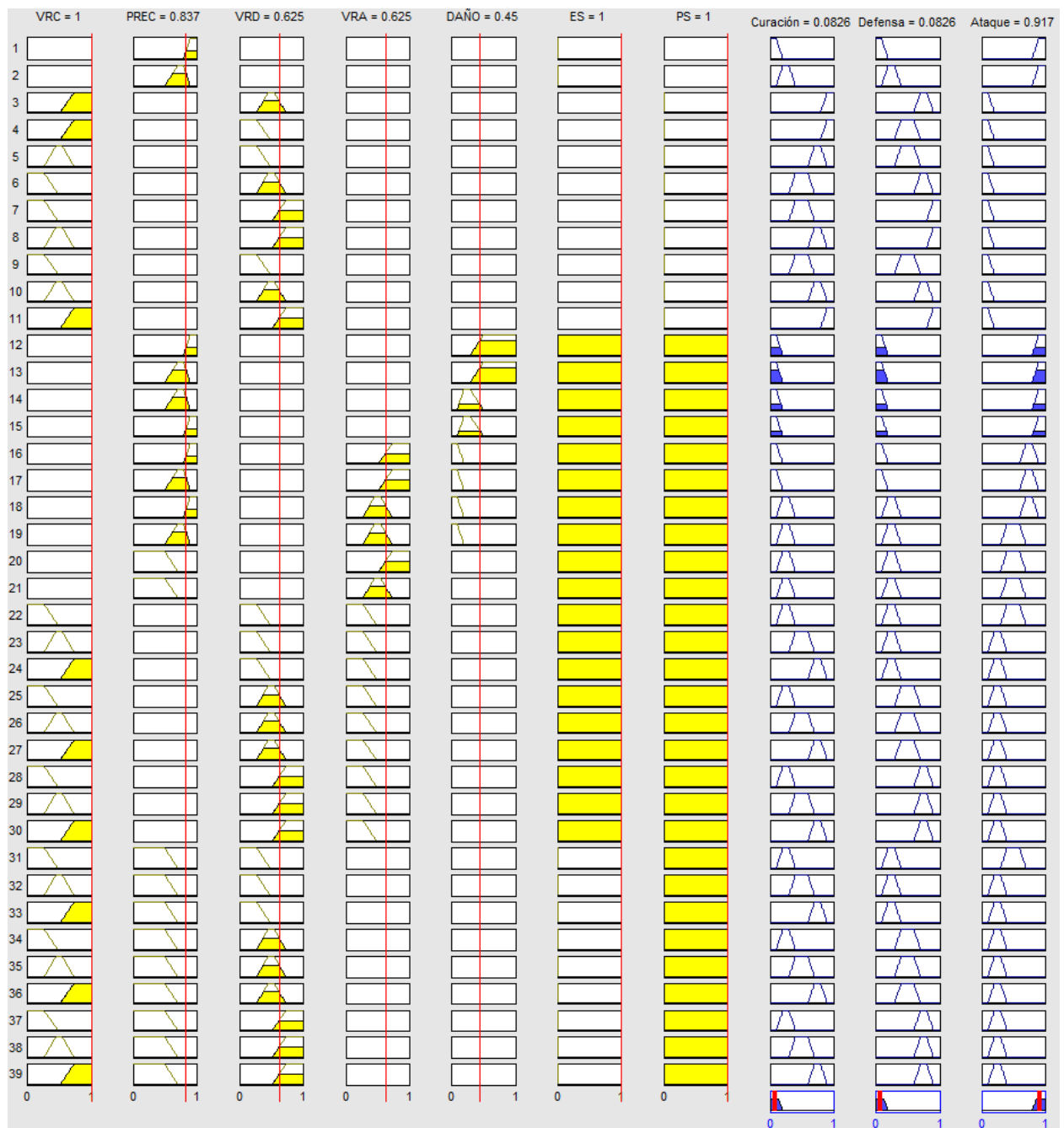


Figura 22: Ejemplo de ejecución para el caso de uso 3.1.a

6. Discusión y conclusiones

En base a los resultados obtenidos, podemos observar que estos sistemas pueden utilizarse para resolver este tipo de problema. Desgraciadamente, el espacio de tiempo asignado a la realización de esta práctica no nos ha permitido desarrollar tantas características como nos hubiera gustado, lo que hizo que nos tuviésemos que restringir a un caso sencillo. A continuación exponremos una serie de ideas que surgieron durante la realización de la práctica pero que tuvieron que ser descartadas.

En etapas tempranas de realización de este trabajo se pensó en que se podría incluir la posibilidad de *buffs* y *debuffs* en las acciones a realizar, las cuales son muy comunes en juegos de rol de este estilo. Los *buffs* y *debuffs* permiten aumentar y disminuir, respectivamente, una o más características de un personaje de forma temporal.

También se consideró modelar la mecánica de golpe crítico, es decir, un ataque que provoca más daño de lo normal y que ocurre con una cierta probabilidad dependiente del ataque. Finalmente se decidió no hacerlo durante la realización del sistema ya que se complicaba demasiado para el tiempo disponible (habría que tener en cuenta la probabilidad de hacer golpe crítico y el daño que un ataque de este tipo provocaría, además de las variables ya existentes).

Otra de las ideas descartadas fue una variable que representase la cantidad de objetos curativos restantes del personaje. Esta variable se usaría en las reglas de curación para determinar cuándo era mejor curarse (o si era posible siquiera, ya que sin objetos no podría hacerlo). De manera similar, queríamos considerar el posible consumo de recursos al realizar un ataque (como podría ser el *maná*, muy común para contabilizar el uso de ataques mágicos, o la *estamina* para ataques físicos).

Por otro lado, en un principio no íbamos a considerar la restricción de que el personaje controlado por el sistema difuso actuará primero, pero de nuevo vimos que el sistema se complicaba demasiado para el tiempo disponible (los criterios no son iguales actuando antes que actuando después, por lo que tendríamos que desarrollar reglas específicas para cada situación, y añadir algunas variables).

Con todas las opciones descartadas, el sistema resultante sólo podría ser utilizado para decidir la acción a realizar en cada turno en un juego sencillo, pero creemos que tiene potencial para, una vez ampliado, ser utilizado en un juego más complejo.

7. Referencias

[1] Carlos González Morcillo, *Lógica Difusa Una introducción práctica Técnicas de Soft-computing*, 2011

[2] Oscar G. Duarte V. M.Sc., *Sistemas de Lógica Difusa*