

UNIVERSIDAD DE MURCIA

SISTEMAS INTELIGENTES

PCEO

Práctica 2: Sistemas Basados en Reglas

Autor:

Jose Antonio Lorenzo Abril

49196915F

joseantonio.lorencioa@um.es

Profesor:

Manuel Gil Pérez

Diciembre 2020

Índice

Índice de cuadros	2
1. Introduccion: Sistemas Basados en Reglas	3
1.1. Introducción	3
1.2. ¿En qué consiste un Sistema Basado en Reglas?	3
1.2.1. Componentes de un SBR	3
1.3. Representación del conocimiento incierto: los Factores de Certeza	4
1.4. ¿Qué mide el factor de certeza asociado a un hecho?	5
2. Motor con razonamiento hacia atrás	6
3. Pruebas	7
3.1. Prueba 1	7
3.2. Prueba 2	9
3.3. Prueba 3	12
3.4. Prueba 4	15
3.5. Prueba 5	21
4. Manual de Uso	25
5. Tiempo de trabajo	27
6. Conclusión y valoración personal	27
7. Bibliografía	28

Índice de cuadros

1.	Pseudocódigo del motor con razonamiento hacia atrás	6
2.	Salida para la Prueba 1	8
3.	Salida para la Prueba 2, objetivo ganaEST	9
4.	Salida para la Prueba 2, objetivo ganaRM	10
5.	Salida para la Prueba 3	14
6.	Salida para la Prueba 4, el caso de Aurelio	18
7.	Salida para la Prueba 4, el caso de María	20
8.	Salida para la Prueba 5	24
9.	Formato de la base de conocimiento	25
10.	Ejemplo de BC: Prueba 5	25
11.	Formato de la base de hechos	25
12.	Ejemplo de BH: prueba 5	26
13.	Desglose del tiempo de trabajo	27

1. Introduccion: Sistemas Basados en Reglas

1.1. Introducción

El presente documento es el informe de la segunda práctica de Sistemas Inteligentes. En el mismo comprimido en el que se encuentra este pdf encontramos todos los ficheros requeridos en la práctica, así como el proyecto CodeBlocks, con todos los ficheros fuente. El fichero ejecutable se encuentra en `.\bin\debug`, junto con todos los ficheros de entrada y de salida usados a lo largo de la práctica.

1.2. ¿En qué consiste un Sistema Basado en Reglas?

La lógica, si bien no describe de forma precisa ni completa el proceso de razonamiento humano en general, es ciertamente una buena herramienta de descripción de algunos razonamientos concretos. Concretamente, la lógica la utilizamos cuando de una serie de sucesos, extraemos la causa y la consecuencia. Como ejemplo, podemos pensar en que estamos plantados frente a un interruptor cuya función desconocemos, lo pulsamos, y se enciende una luz azul. Concluiremos entonces que, a causa de pulsar el botón, la luz azul se ha encendido. De esta forma, la lógica trata de formalizar este proceso de relacionar causas y efectos.

En este sentido, podríamos plantear la posibilidad de dotar a los ordenadores de sistemas lógicos de razonamiento, de forma que proporcionándoles una serie de inputs (que en analogía con los humanos serían lo que detectamos mediante nuestros sentidos), usen unas reglas que relacionan y distinguen las causas de los efectos (para nosotros esto es la experiencia, lo que hemos aprendido) y extraigan las consecuencias que derivan de esos inputs. Y esto precisamente son los **Sistemas Basados en Reglas (SBR)**, la implementación en un ordenador de un sistema lógico de deducción formal. En ocasiones se denominan Sistemas Expertos, porque las reglas de inferencia son proporcionadas por expertos en la materia en la que estamos interesados en hacer predicciones.

1.2.1. Componentes de un SBR

- **Base de Conocimiento (BC):** contiene las **reglas** que codifican el conocimiento sobre la materia de estudio. Las reglas, a su vez, tienen dos partes:
 - Condición, consecuente o Left Hand Side (LHS): codifica la causa que precede a un efecto.
 - Consecuente o Right Hand Side (RHS): codifica el efecto producido por la causa.

Es decir, las reglas son un par causa-efecto, normalmente expresado como **Si** causa **Entonces** efecto.

- **Base de Hechos (BH):** representa el estado actual de resolución de un problema concreto. Contiene los inputs del problema, las consecuencias inferidas a lo largo del razonamiento, y las metas a alcanzar o consecuencias finales que buscamos conocer.
- **Motor de Inferencias (MI):** es el mecanismo algorítmico que utiliza la BC y la BH para obtener conclusiones. Los motores de inferencia pueden trabajar de dos formas:
 - a) Razonamiento hacia delante: parte de los hechos conocidos, y usando las reglas obtiene las consecuencias derivables de estos. Responde a la cuestión: ¿Qué efectos tendrán estos hechos conocidos?
 - b) Razonamiento hacia atrás: parte de las consecuencias que deseamos saber si se verifican, y usa las reglas, hacia atrás, para ver si, con los hechos conocidos, se verifican las consecuencias buscadas. Responde a la cuestión: ¿Ocurrirán estas consecuencias, dados estos hechos?
- **Red de inferencia:** es un grafo dirigido en el que los nodos son las reglas, representadas mediante puertas lógicas. Las condiciones del antecedente son las entradas a los nodos y los efectos son las salidas, que pueden ser las condiciones de otros nodos.

Los antecedentes que no son consecuentes de ninguna otra regla son los posibles hechos de partida; y el consecuente que no es antecedente de ninguna otra regla se convierte en la meta a alcanzar por el sistema.

La red de inferencia resulta de utilidad cuando no hay una gran cantidad de reglas.

Es importante notar que la Base de Conocimiento describe todo nuestro conocimiento acerca del problema general que estamos tratando, mientras que la base de hechos es dependiente de las circunstancias específicas de cada situación. Por ejemplo, un SBR que diferencia sillas de mesas, debería tener una BC en la que se proporcione la información necesaria para diferenciar una mesa de una silla, y en la BH tendremos, por ejemplo, fotos de las sillas y mesas concretas que buscamos diferenciar.

Además, la BC y la BH trabajan en conjunción, unidas por la MI, una sola de ellas es inútil si no se dispone de la otra. Las reglas de la BC operan sobre la BH, la condición de una regla debe tratar de verificarse con los datos de la BH; y si uno de estos test se verifica, entonces obtendremos una consecuencia, que puede propiciar cambios en el contenido de la BH

1.3. Representación del conocimiento incierto: los Factores de Certeza

Siguiendo con la línea de la explicación del razonamiento humano, nos damos cuenta de que no todo (de hecho, casi nada) son hechos factuales que conocemos con seguridad, y cuyas consecuencias conocemos con seguridad. Normalmente, trabajamos con incertidumbre y las conclusiones obtenidas a partir de una causa suelen tener un cierto grado de fiabilidad. Continuando el ejemplo del interruptor, imaginemos que lo pulsamos 100 veces, y 85 veces enciende una luz azul y las otras 15 enciende una luz verde. Ahora no asociaremos como consecuencia de pulsar el botón, que se enciende una luz azul, sino que diremos que al pulsar el botón, el 85 % de las veces se enciende una luz azul, y el resto una luz verde.

Para este propósito incorporamos el concepto de **Factor de Certeza**, que se entiende como la credibilidad del consecuente o hipótesis en función de la conjunción de antecedentes o evidencias. Los factores de certeza, en última instancia, son valoraciones subjetivas proporcionadas por los expertos en la materia a estudio.

Formalmente, se define en términos de dos componentes subjetivos:

- $MC(h,e)$: medida de la creencia en la hipótesis h , dada la evidencia e . $MC(h,e) \in [0,1]$ y $MC(h,e) = 0$ si la evidencia no soporta a h .
- $MI(h,e)$: medida de la incredulidad en la hipótesis h , dada la evidencia e . $MI(h,e) \in [0,1]$ y $MI(h,e) = 0$ si la evidencia soporta a h .

Es de notar que una misma evidencia no puede, al mismo tiempo, apoyar la creencia y la incredulidad de una hipótesis, es decir:

$$MC(h,e) > 0 \implies MI(h,e) = 0$$

$$MI(h,e) > 0 \implies MC(h,e) = 0$$

Y el factor de certeza se define como

$$FC(h,e) = MC(h,e) - MI(h,e)$$

de forma que $FC(h,e) \in [-1,1]$

Por último, debemos combinar nuestro método de razonamiento explicado anteriormente con la existencia de incertidumbre, para ello debemos definir la forma en la que los factores de certeza se combinan al usar distintas reglas, obtener nueva evidencia a favor o en contra de algunos hechos, etc.

Para ello, debemos distinguir los posibles casos con los que nos podemos encontrar:

1. **Combinación de antecedentes:** combinamos las piezas de evidencia e_1 , y e_2 , que afectan al factor de certeza de h :

$$FC(h, e_1 \wedge e_2) = \min\{FC(h, e_1), FC(h, e_2)\}$$

$$FC(h, e_1 \vee e_2) = \max\{FC(h, e_1), FC(h, e_2)\}$$

2. **Adquisición incremental de evidencia:** cuando dos evidencias afectan de forma distinta (mediante reglas diferentes) a una hipótesis:

$$FC(h, e_1 \wedge e_2) = \begin{cases} FC(h, e_1) + FC(h, e_2) \cdot (1 - FC(h, e_1)), & \text{si } FC(h, e_1), FC(h, e_2) \geq 0 \\ FC(h, e_1) + FC(h, e_2) \cdot (1 + FC(h, e_1)), & \text{si } FC(h, e_1), FC(h, e_2) \leq 0 \\ \frac{FC(h, e_1) + FC(h, e_2)}{1 - \min\{|FC(h, e_1)|, |FC(h, e_2)|\}}, & \text{si } FC(h, e_1) \cdot FC(h, e_2) < 0 \end{cases}$$

3. **Encadenamiento de evidencia:** se combinan dos reglas, tales que el resultado de una es la entrada de la otra:

$$FC(h, e) = FC(h, s) * \max\{0, FC(s, e)\}$$

donde las reglas han sido de la forma R1: Si e Entonces s; y R2: Si s Entonces h.

1.4. ¿Qué mide el factor de certeza asociado a un hecho?

En [3] de la bibliografía, página 36, podemos leer:

"La pregunta que se formula al experto para obtener el factor de certeza es: 'En una escala de 1 a 10, ¿cuál es la certidumbre que usted asigna a esta conclusión?' Dicho número, una vez pasado a decimales, será el FC asignado a la regla. Por tanto los valores 1 y -1 corresponderán a absoluta certeza en la verdad o falsedad de h."

Es decir, que el factor de certeza es la probabilidad subjetiva que un experto da a la veracidad de un hecho a partir de la evidencia disponible.

En nuestro ejemplo del botón, en el que somos unos grandes expertos, tras haberlo pulsado 10 millones de veces, hemos obtenido que el 85 % de las veces se enciende una luz azul, casi el 15 % de las veces una luz verde, y una única vez la luz fue amarilla. Por tanto, es razonable que asignemos unos factores de certeza similares a 0.85 para la luz azul, 0.15 para la luz verde, -0.99 para la luz amarilla (sabemos que es muy improbable pero no imposible), y -1 para la luz roja (que tras toda una vida pulsando el botón, nunca hemos encontrado).

Por otro lado, el factor de certeza no siempre es directamente proporcionado por el experto, sino que puede ser inferido a partir de los hechos y los factores de certeza de otros hechos anteriores. En este caso, el significado del FC es el mismo, pero ahora no ha sido asignado directamente por el experto, sino que ha sido derivado mediante el proceso de inferencia.

2. Motor con razonamiento hacia atrás

Vamos a ver cuál es el pseudocódigo que he realizado para implementar mi motor con razonamiento hacia atrás en un entorno incierto. Me he basado en el proporcionado en la asignatura para razonar hacia atrás con conocimiento certero, y he hecho algunas sencillas modificaciones:

```
1 funcion calcular_fc
2 entrada meta, BC, BH
3 salida FC(meta)
4
5 begin
6     si Contenida(meta, BH) devolver BH.FC(meta)
7     si no
8         ConjuntoConflicto = equiparar(Consecuentes(BC), meta)
9         ListaFC //lista con los FC calculados para cada una de las reglas del conjunto conflicto
10        si vacio(ConflictoVacio) devolver 0 //en este caso la meta no tiene antecedentes y no está en
11        la base de hechos, por lo que no tenemos conocimiento alguno sobre su FC
12        para cada Regla en ConjuntoConflicto hacer
13            FC = caso1(antecedentes(Regla)) //aplica el caso 1 del cálculo de FC a los antecedentes de la
14            Regla, si desconoce algún FC, hace la llamada recursiva a calcular_fc, pasando como meta el
15            antecedente cuyo FC necesita conocer
16            FC = caso3(FC, FC(Regla)) //aplica el caso 3 del cálculo del FC
17            ListaFC.append(FC)
18            FC = caso 2(ListaFC) //aplica el caso 2 del cálculo del FC, combinando los FC de todas las
19            reglas cuyo consecuente es meta
20            Añadir(meta, FC, BH)
21            devolver FC
22    end
```

Cuadro 1: Pseudocódigo del motor con razonamiento hacia atrás

3. Pruebas

3.1. Prueba 1

Red de Inferencia

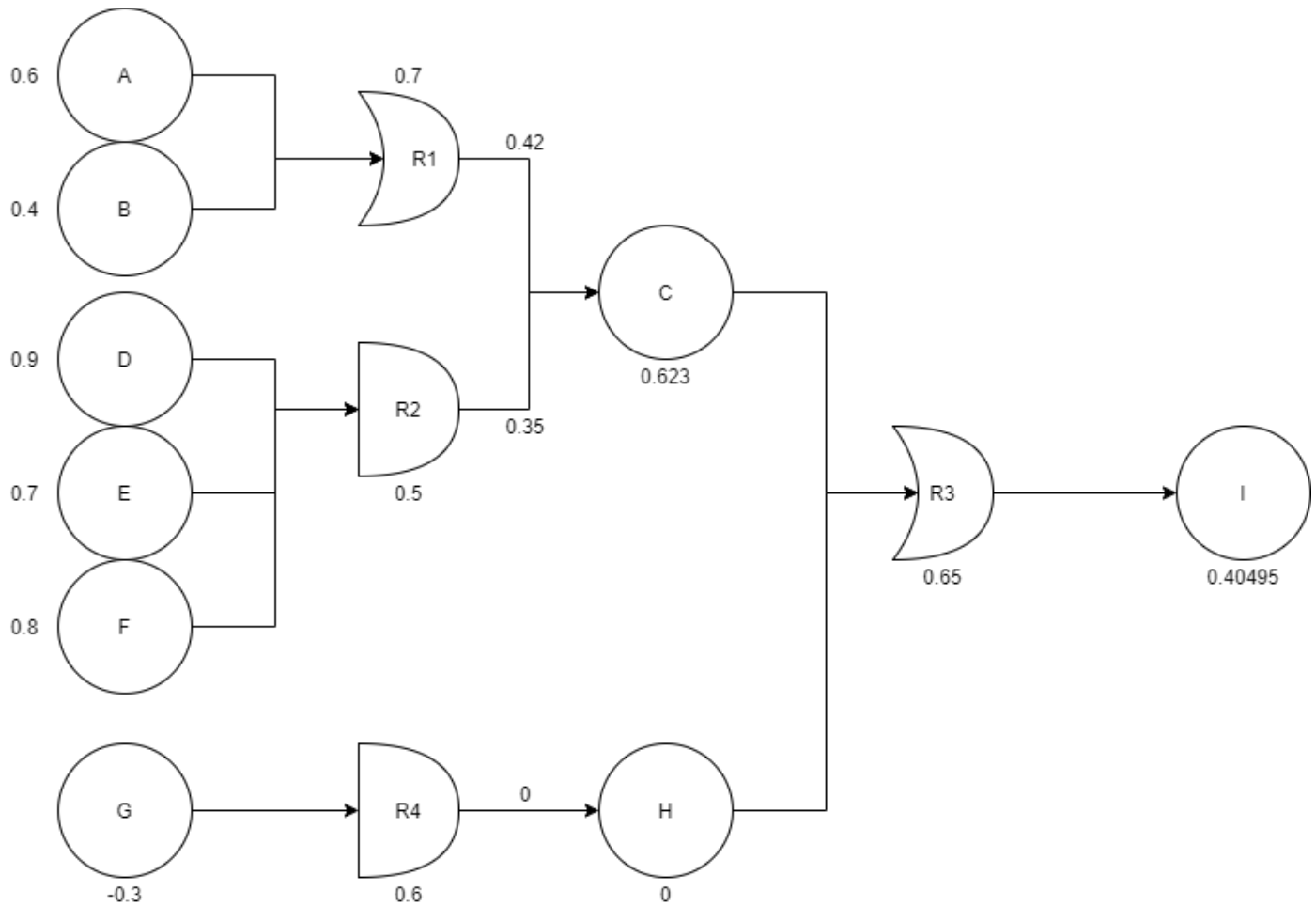


Figura 1: Red de Inferencia de la prueba 1

Y la salida proporcionada por mi programa es la siguiente:


```

1 BC: bc1.txt
2 BH: bh1.txt
3 Comienza el encadenamiento hacia atrás
4 Procesando I
5 —Procesando C
6 —Procesando A
7   Es un hecho con FC = 0.6
8 —Procesando B
9   Es un hecho con FC = 0.4
10  Aplicando el caso 1 a A o B
11  El FC calculado para la regla R1, Si A o B Entonces C, es 0.42
12 —Procesando D
13   Es un hecho con FC = 0.9
14 —Procesando E
15   Es un hecho con FC = 0.7
16  Aplicando el caso 1 a D y E
17 —Procesando F
18   Es un hecho con FC = 0.8
19  Aplicando el caso 1 a E y F
20  El FC calculado para la regla R2, Si D y E y F Entonces C, es 0.35
21  Aplicando el caso 2 a las reglas R1 y R2
22  El FC calculado para C es 0.623
23 —Procesando H
24 —Procesando G
25   Es un hecho con FC = -0.3
26   El FC es negativo, el caso 3 hace que este FC sea 0
27   El FC calculado para la regla R4, Si G Entonces H, es 0
28   El FC calculado para H es 0
29  Aplicando el caso 1 a C o H
30  El FC calculado para la regla R3, Si C o H Entonces I, es 0.40495
31  El FC calculado para I es 0.40495
32 La meta I es cierta con FC = 0.40495

```

Cuadro 2: Salida para la Prueba 1

Y podemos comprobar como, si seguimos cuidadosamente la salida, podemos obtener la red de inferencia anterior.

¿Con qué grado se cumple I?

Como se ve tanto en la red de inferencia como en la salida de mi programa, I se cumple con un factor de certeza de 0.40495.

3.2. Prueba 2

Red de inferencia

En este caso obtenemos dos redes de inferencia, una para cada caso. Primero mostramos la referente a la deducción sobre la victoria del Estudiantes:

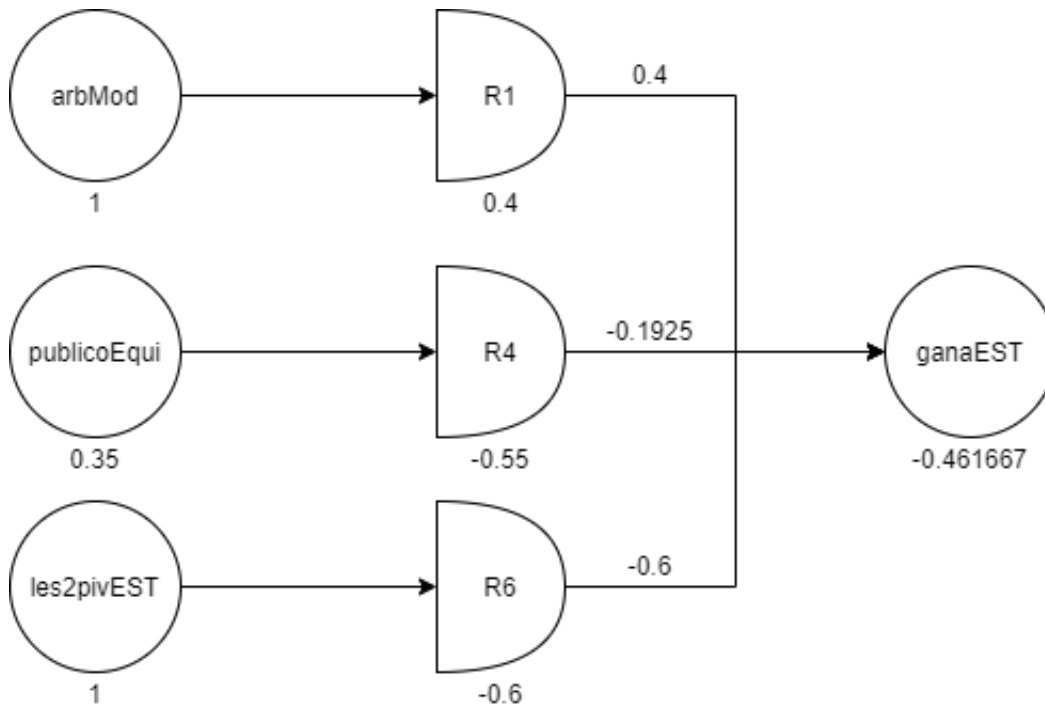


Figura 2: Red de Inferencia de la prueba 2 para la deducción de ganaEST

Cuya salida en mi programa es:

```

1 BC: bc2.txt
2 BH: bh2_1.txt
3 Comienza el encadenamiento hacia atrás
4 Procesando ganaEST
5 —Procesando arbMod
6   Es un hecho con FC = 1
7   El FC calculado para la regla R1, Si arbMod Entonces ganaEST, es 0.4
8 —Procesando publicoEqui
9   Es un hecho con FC = 0.35
10  El FC calculado para la regla R4, Si publicoEqui Entonces ganaEST, es -0.1925
11 —Procesando les2pivEST
12   Es un hecho con FC = 1
13   El FC calculado para la regla R6, Si les2pivEST Entonces ganaEST, es -0.6
14   Aplicando el caso 2 a las reglas R1 y R4
15   Aplicando el caso 2 a las reglas R4 y R6
16   El FC calculado para ganaEST es -0.461667
17 La meta ganaEST es cierta con FC = -0.461667
  
```

Cuadro 3: Salida para la Prueba 2, objetivo ganaEST

Y el otro caso, para estudiar la victoria del Real Madrid:

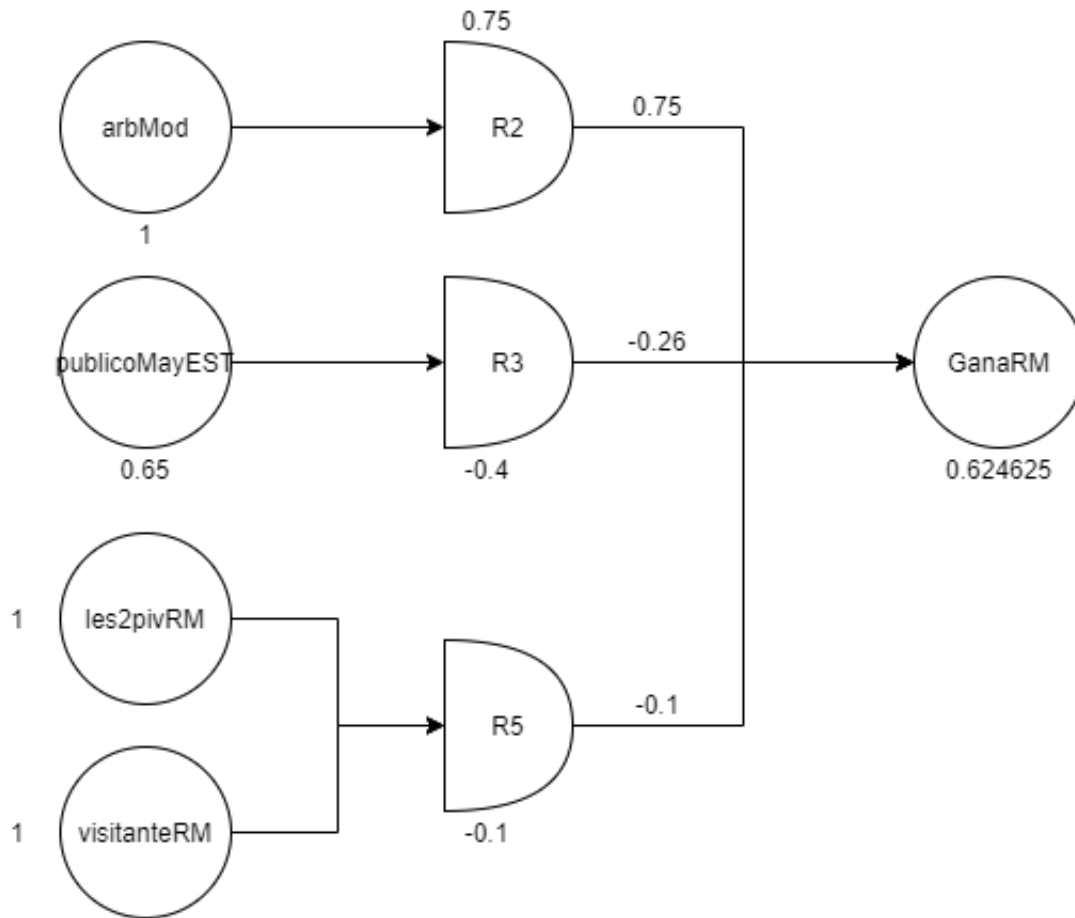


Figura 3: Red de Inferencia de la prueba 2 para la deducción de ganaRM

Con salida:

```

1 BC: bc2.txt
2 BH: bh2_2.txt
3 Comienza el encadenamiento hacia atrás
4 Procesando ganaRM
5 —Procesando arbMod
6   Es un hecho con FC = 1
7   El FC calculado para la regla R2, Si arbMod Entonces ganaRM, es 0.75
8 —Procesando publicoMayEST
9   Es un hecho con FC = 0.65
10  El FC calculado para la regla R3, Si publicoMayEST Entonces ganaRM, es -0.26
11 —Procesando les2pivRM
12   Es un hecho con FC = 1
13 —Procesando visitanteRM
14   Es un hecho con FC = 1
15   Aplicando el caso 1 a les2pivRM y visitanteRM
16   El FC calculado para la regla R5, Si les2pivRM y visitanteRM Entonces ganaRM, es -0.1
17   Aplicando el caso 2 a las reglas R2 y R3
18   Aplicando el caso 2 a las reglas R3 y R5
19   El FC calculado para ganaRM es 0.624625
20 La meta ganaRM es cierta con FC = 0.624625

```

Cuadro 4: Salida para la Prueba 2, objetivo ganaRM

Y vemos como, al igual que antes, ambas salidas corresponden correctamente con la red de inferencia.

¿Quién ganará el partido y, por tanto, la liga?

Como vemos, el factor de certeza de que ganará el Real Madrid es de 0.625, mientras que el de la victoria del Estudiantes es de -0.462. Por tanto, si tuviésemos que decantarnos por uno de los dos equipos, deberíamos hacerlo por el Real Madrid.

3.3. Prueba 3

Formalización

Vamos a utilizar la **signatura**

$\Sigma = \{antiguedad23, antiguedadMas3, experimentado, conduccion23, cansado, conduccionMas3, noVaSolo, causante, joven, alcohol\}$

donde

$antiguedad23 = .^{E1}$ conductor tiene antigüedad de entre 2 y 3 años"

$antiguedadMas3 = .^{E1}$ conductor tiene más de 3 años de antigüedad"

$experimentado = .^{E1}$ conductor es experimentado"

$conduccion23 =$ "Ha conducido entre 2 y 3 horas" $cansado = .^{E1}$ conductor está cansado"

$conduccionMas3 =$ "Ha conducido por más de 3 horas"

$noVaSolo = .^{E1}$ conductor no viaja solo"

$causante = .^{E1}$ conductor ha causado el accidente"

$joven = .^{E1}$ conductor es joven".

$alcohol = .^{E1}$ conductor ha bebido alcohol"

Así, definimos las **reglas** como:

R1: Si $antiguedad23$ Entonces $experimentado$, $FC=0.5$

R2: Si $antiguedadMas3$ Entonces $experimentado$, $FC=0.9$

R3: Si $conduccion23$ Entonces $cansado$, $FC=0.5$

R4: Si $conduccionMas3$ Entonces $cansado$, $FC=1$

R5: Si $experimentado$ y $noVaSolo$ Entonces $causante$, $FC=-0.5$

R6: Si $cansado$ Entonces $causante$, $FC=0.5$

R7: Si $joven$ y $alcohol$ Entonces $causante$, $FC=0.7$

Y los **hechos**:

$FC(joven)=0.4$, $FC(antiguedad23)=1$, $FC(antiguedadMas3)=-1$, $FC(conduccionMas3)=1$, $FC(conduccion23)=-1$, $FC(noVaSolo)=-1$, $FC(alcohol)=0.5$

Red de inferencia

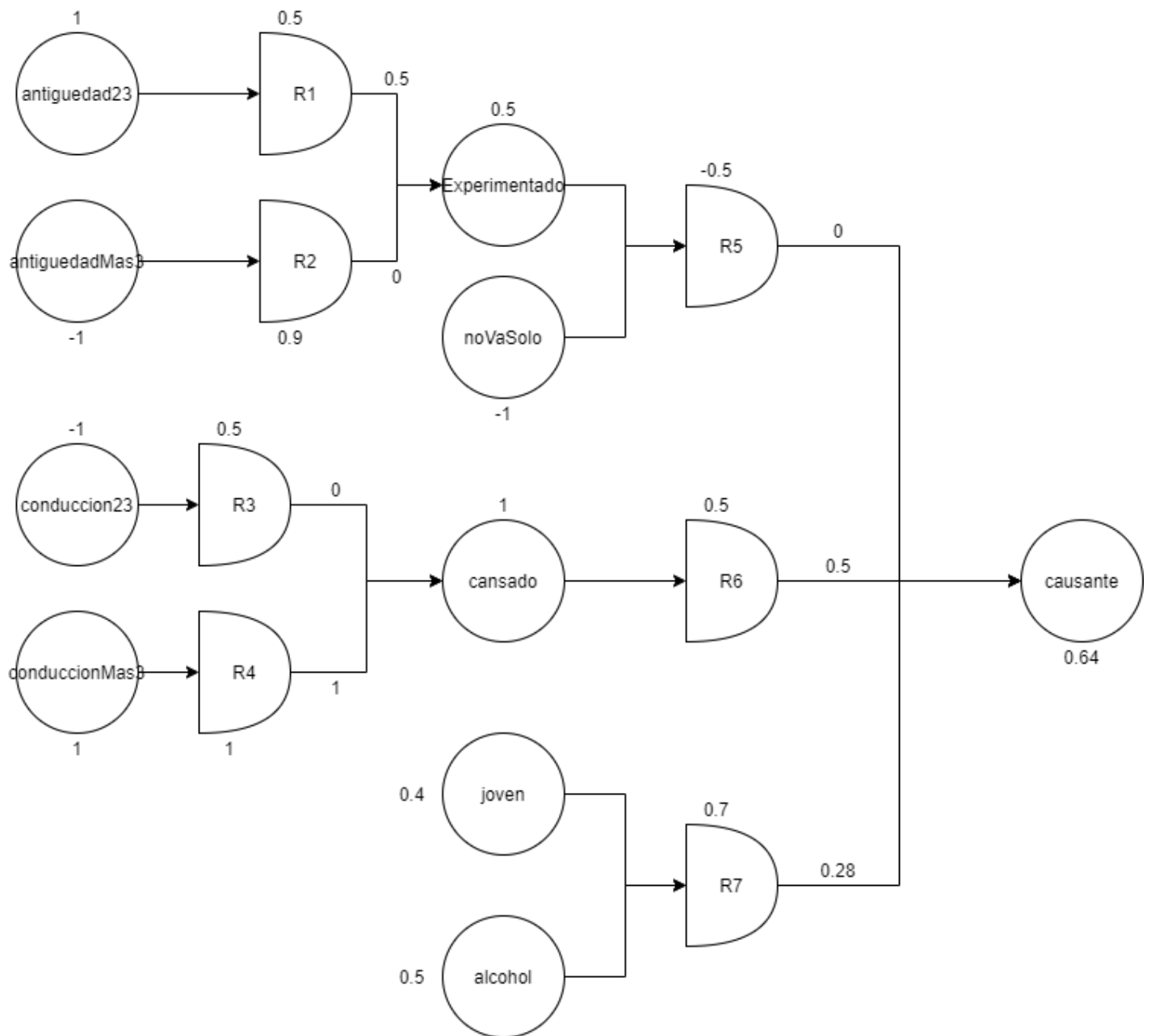


Figura 4: Red de Inferencia de la prueba 3

Y su salida:

```

1 BC: bc3.txt
2 BH: bh3.txt
3 Comienza el encadenamiento hacia atrás
4 Procesando causante
5 —Procesando experimentado
6 ———Procesando antiguedad23
7     Es un hecho con FC = 1
8     El FC calculado para la regla R1, Si antiguedad23 Entonces experimentado, es 0.5
9 ———Procesando antiguedadMas3
10    Es un hecho con FC = -1
11    El FC es negativo, el caso 3 hace que este FC sea 0
12    El FC calculado para la regla R2, Si antiguedadMas3 Entonces experimentado, es 0
13    Aplicando el caso 2 a las reglas R1 y R2
14    El FC calculado para experimentado es 0.5
15 —Procesando noVaSolo
16     Es un hecho con FC = -1
17     Aplicando el caso 1 a experimentado y noVaSolo
18     El FC es negativo, el caso 3 hace que este FC sea 0
19     El FC calculado para la regla R5, Si experimentado y noVaSolo Entonces causante, es -0
20 —Procesando cansado
21 ———Procesando conduccion23
22     Es un hecho con FC = -1
23     El FC es negativo, el caso 3 hace que este FC sea 0
24     El FC calculado para la regla R3, Si conduccion23 Entonces cansado, es 0
25 ———Procesando conduccionMas3
26     Es un hecho con FC = 1
27     El FC calculado para la regla R4, Si conduccionMas3 Entonces cansado, es 1
28     Aplicando el caso 2 a las reglas R3 y R4
29     El FC calculado para cansado es 1
30     El FC calculado para la regla R6, Si cansado Entonces causante, es 0.5
31 —Procesando joven
32     Es un hecho con FC = 0.4
33 —Procesando alcohol
34     Es un hecho con FC = 0.5
35     Aplicando el caso 1 a joven y alcohol
36     El FC calculado para la regla R7, Si joven y alcohol Entonces causante, es 0.28
37     Aplicando el caso 2 a las reglas R5 y R6
38     Aplicando el caso 2 a las reglas R6 y R7
39     El FC calculado para causante es 0.64
40 La meta causante es cierta con FC = 0.64

```

Cuadro 5: Salida para la Prueba 3

¿Cuál será el grado de certeza de que este conductor ha sido el causante del accidente?

Como vemos en la salida del programa y en la red de inferencia, el grado de certeza obtenido es de 0.64.

3.4. Prueba 4

Determinación de la gravedad de una afección cutánea

El doctor de la Rosa es el dermatólogo más reputado de la región. Tanto es así, que recibe demasiadas peticiones de consulta y nos ha contratado para filtrar casos de enfermedades leves y graves a partir de una foto de la zona afectada del paciente, para poder citar a la gente por orden de importancia.

El doctor nos proporciona la siguiente información:

- El enrojecimiento de la zona suele ser (0.8) pasajero.
- La presencia de escamas se relaciona (0.6) con casos graves.
- Los problemas pasajeros, normalmente (-0.5) no son graves.
- Se cree que las manchas negras no son pasajeras (-0.3).
- La experiencia personal del doctor es que los casos de hombres que acuden a su consulta son graves (0.2) más frecuentemente que los de mujeres (0.15).
- Si el paciente se niega a adjuntar una foto, se considera (-1) que su caso no es grave.
- La edad del paciente está directamente relacionada con la gravedad de la enfermedad. (El factor de certeza es $\frac{\min(\frac{edad}{2}, 30)}{100}$)

El doctor quiere dar las citas por orden decreciente de gravedad de la posible afección.

Hay dos pacientes:

- María, 38 años, presenta (0.95) escamas en los codos, sin enrojecimiento (-1) ni manchas negras apreciables (-1).
- Aurelio, 60 años, tiene una mancha rojiza, aparentemente (-0.5) no escamosa, en el cuello. No presenta manchas negras (-1).

¿A quién debemos darle la cita en primer lugar?

Formalización

Vamos a utilizar la **signatura**

$$\Sigma = \{enrojecimiento, escamas, pasajero, manchaN, hombre, mujer, foto, edad, esGrave\}$$

donde

enrojecimiento="La zona presenta enrojecimiento"

escamas="La zona está escamosa"

pasajero="La afección es pasajera"

manchaN="Presenta una mancha negra"

hombre=.E1 paciente es hombre"

mujer=.E1 paciente es mujer"

noFoto="No presenta fotografía de la afección"

edad=Representa la edad del paciente, tendrá el FC $\frac{\min(\frac{edad}{2}, 30)}{100}$ "

esGrave="La afección del paciente es grave".

Así, definimos las **reglas** como:

R1: Si enrojecimiento Entonces pasajero, FC=0.8

R2: Si escamas Entonces esGrave, FC=0.6

R3: Si pasajero Entonces esGrave, FC=-0.3

R4: Si manchaN Entonces pasajero, FC=-0.3

R5: Si hombre Entonces esGrave, FC=0.2

R6: Si mujer Entonces esGrave, FC=0.15

R7: Si noFoto Entonces esGrave, FC=-1

R8: Si edad Entonces esGrave, FC=1

Y los **hechos** del caso de María:

FC(mujer)=1, FC(hombre)=-1, FC(edad)=0.19, FC(enrojecimiento)=-1, FC(manchaN)=-1, FC(escamas)=0.95, FC(noFoto)=-1

Y los del caso de Aurelio:

FC(mujer)=-1, FC(hombre)=1, FC(edad)=0.3, FC(enrojecimiento)=1, FC(manchaN)=-1, FC(escamas)=-0.5, FC(noFoto)=-1

Red de inferencia

Como en la prueba 2, tenemos dos casos distintos. La primera red de inferencia corresponde al caso de aurelio:

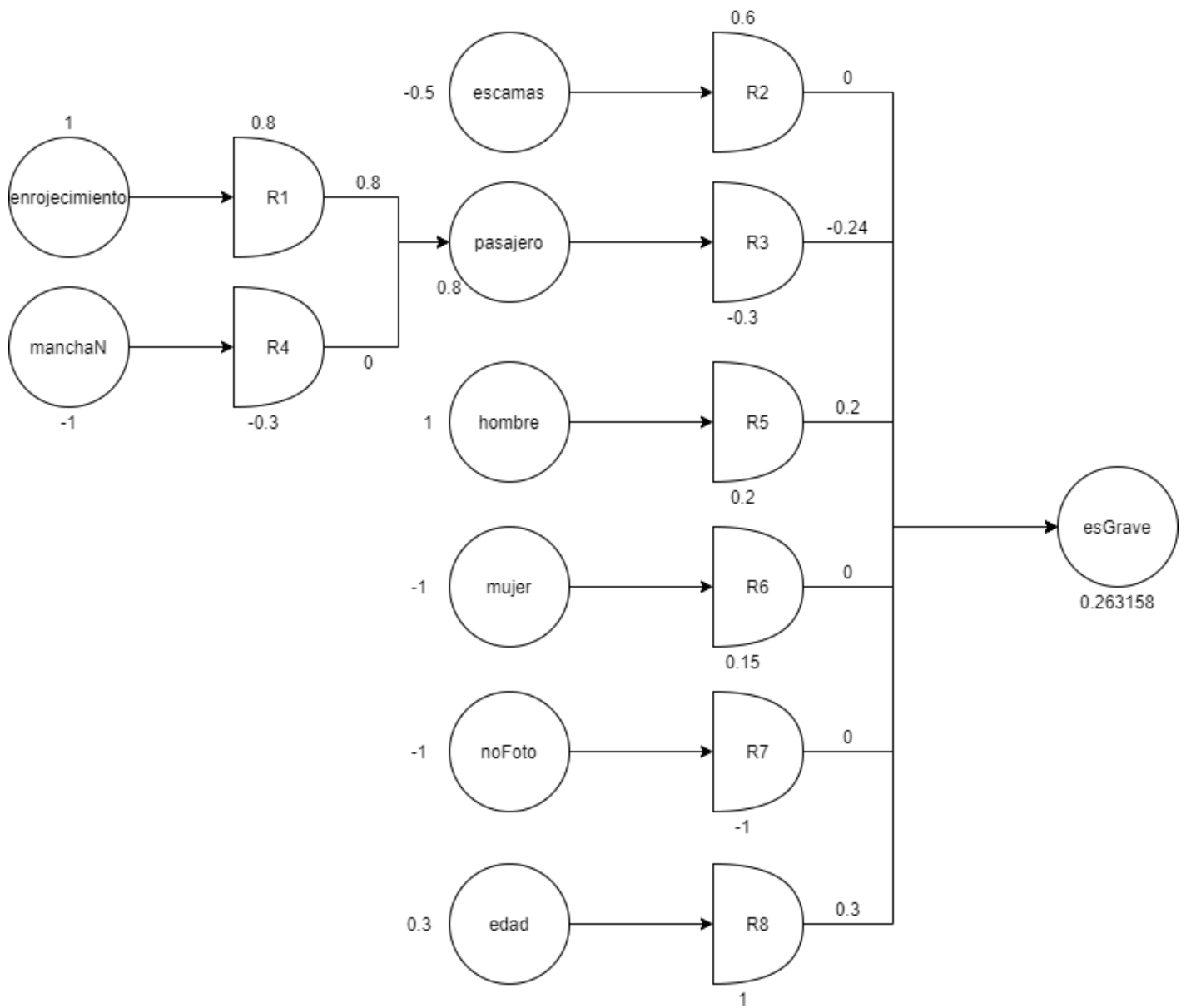


Figura 5: Red de Inferencia de la prueba 4, para el paciente Aurelio

Y el programa arroja:

```

1 BC: bc4.txt
2 BH: bh4_aurelio.txt
3 Comienza el encadenamiento hacia atrás
4 Procesando esGrave
5 —Procesando escamas
6   Es un hecho con FC = -0.5
7   El FC es negativo, el caso 3 hace que este FC sea 0
8   El FC calculado para la regla R2, Si escamas Entonces esGrave, es 0
9 —Procesando pasajero
10 —Procesando enrojecimiento
11   Es un hecho con FC = 1
12   El FC calculado para la regla R1, Si enrojecimiento Entonces pasajero, es 0.8
13 —Procesando manchaN
14   Es un hecho con FC = -1
15   El FC es negativo, el caso 3 hace que este FC sea 0
16   El FC calculado para la regla R4, Si manchaN Entonces pasajero, es -0
17   Aplicando el caso 2 a las reglas R1 y R4
18   El FC calculado para pasajero es 0.8
19   El FC calculado para la regla R3, Si pasajero Entonces esGrave, es -0.24
20 —Procesando hombre
21   Es un hecho con FC = 1
22   El FC calculado para la regla R5, Si hombre Entonces esGrave, es 0.2
23 —Procesando mujer
24   Es un hecho con FC = -1
25   El FC es negativo, el caso 3 hace que este FC sea 0
26   El FC calculado para la regla R6, Si mujer Entonces esGrave, es 0
27 —Procesando noFoto
28   Es un hecho con FC = -1
29   El FC es negativo, el caso 3 hace que este FC sea 0
30   El FC calculado para la regla R7, Si noFoto Entonces esGrave, es -0
31 —Procesando edad
32   Es un hecho con FC = 0.3
33   El FC calculado para la regla R8, Si edad Entonces esGrave, es 0.3
34   Aplicando el caso 2 a las reglas R2 y R3
35   Aplicando el caso 2 a las reglas R3 y R5
36   Aplicando el caso 2 a las reglas R5 y R6
37   Aplicando el caso 2 a las reglas R6 y R7
38   Aplicando el caso 2 a las reglas R7 y R8
39   El FC calculado para esGrave es 0.263158
40 La meta esGrave es cierta con FC = 0.263158

```

Cuadro 6: Salida para la Prueba 4, el caso de Aurelio

Y para el caso de María:

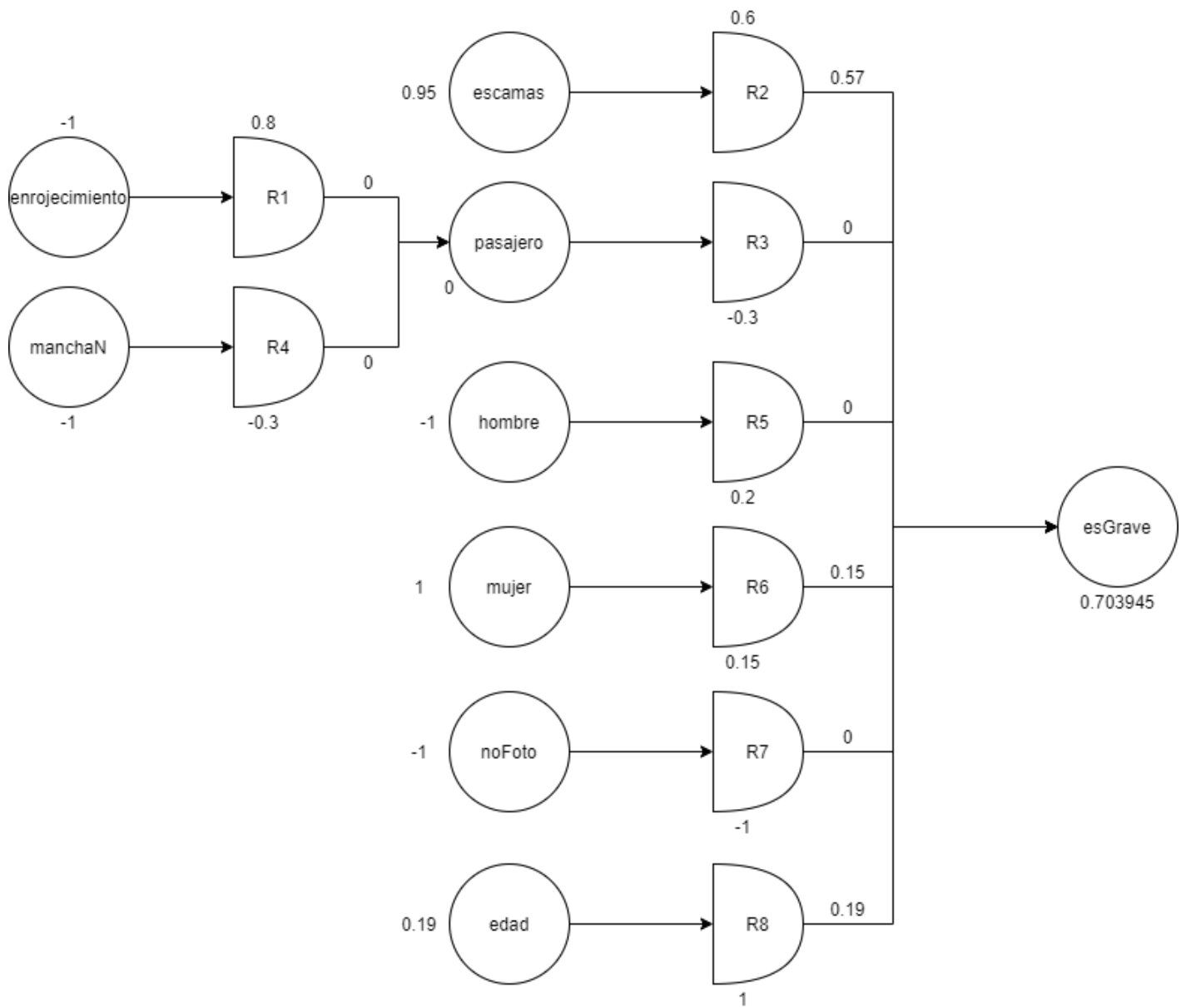


Figura 6: Red de Inferencia de la prueba 4, para el paciente María

Con salida:

```

1 BC: bc4.txt
2 BH: bh4_maria.txt
3 Comienza el encadenamiento hacia atrás
4 Procesando esGrave
5 —Procesando escamas
6   Es un hecho con FC = 0.95
7   El FC calculado para la regla R2, Si escamas Entonces esGrave, es 0.57
8 —Procesando pasajero
9 —Procesando enrojecimiento
10  Es un hecho con FC = -1
11  El FC es negativo, el caso 3 hace que este FC sea 0
12  El FC calculado para la regla R1, Si enrojecimiento Entonces pasajero, es 0
13 —Procesando manchaN
14  Es un hecho con FC = -1
15  El FC es negativo, el caso 3 hace que este FC sea 0
16  El FC calculado para la regla R4, Si manchaN Entonces pasajero, es -0
17  Aplicando el caso 2 a las reglas R1 y R4
18  El FC calculado para pasajero es 0
19  El FC calculado para la regla R3, Si pasajero Entonces esGrave, es -0
20 —Procesando hombre
21  Es un hecho con FC = -1
22  El FC es negativo, el caso 3 hace que este FC sea 0
23  El FC calculado para la regla R5, Si hombre Entonces esGrave, es 0
24 —Procesando mujer
25  Es un hecho con FC = 1
26  El FC calculado para la regla R6, Si mujer Entonces esGrave, es 0.15
27 —Procesando noFoto
28  Es un hecho con FC = -1
29  El FC es negativo, el caso 3 hace que este FC sea 0
30  El FC calculado para la regla R7, Si noFoto Entonces esGrave, es -0
31 —Procesando edad
32  Es un hecho con FC = 0.19
33  El FC calculado para la regla R8, Si edad Entonces esGrave, es 0.19
34  Aplicando el caso 2 a las reglas R2 y R3
35  Aplicando el caso 2 a las reglas R3 y R5
36  Aplicando el caso 2 a las reglas R5 y R6
37  Aplicando el caso 2 a las reglas R6 y R7
38  Aplicando el caso 2 a las reglas R7 y R8
39  El FC calculado para esGrave es 0.703945
40 La meta esGrave es cierta con FC = 0.703945

```

Cuadro 7: Salida para la Prueba 4, el caso de María

¿A quién debemos darle la cita en primer lugar?

Dado que el factor de certeza de que la afección de María es grave es mayor que el de Aurelio (0.7 vs 0.26), debemos citar primero a María.

3.5. Prueba 5

Detección de Supernovas

La UM ha construido el telescopio 'Lemon 2020', que se va a encargar de la detección de supernovas.

Neil deGrasse Tyson asegura¹ que:

- Un aumento de luminosidad en un factor entre 5-10 proporciona evidencia leve (0.3) de la aparición de una supernova. Un factor entre 10-25 proporciona evidencia alta (0.6) y un factor mayor de 25 es una evidencia muy alta (0.9).
- Si la señal no es detectada en otros observatorios, esto va contra (-0.5) la aparición de una supernova.
- La tonalidad azulada soporta (0.4) la hipótesis de la supernova, mientras que la rojiza la contradice (-0.6).
- Si la tonalidad es azulada, va en contra de que sea rojiza (-1)
- Si la detección se produce en una noche nublada, debemos dudar de la posibilidad de que sea una supernova (-0.8).
- Anexo hay un radiotelescopio que monitoriza los espectros de absorción de las zonas escaneadas. Si detecta hierro, se sabe que hay relación positiva (0.4) con la tonalidad azulada.

El 31 de diciembre de 2020, en una noche despejada (0.05) de nubosidad, el radiotelescopio detectó hierro con una fiabilidad de 0.7 y el telescopio principal detectó un aumento de luminosidad en un factor de 20. Sin embargo, parece que los demás astrofísicos estaban tomándose las uvas y la detección no se produjo en más observatorios.

¿Cuál es el FC de que hayamos detectado una supernova?

Formalización

Vamos a utilizar la **signatura**

$$\Sigma = \{lumi510, lumi1025, lumiMas25, noMasObs, tonAzul, tonRoj, nubes, hierro, supernova\}$$

donde

$lumi510$ ="La luminosidad aumenta en un factor de entre 5 y 10"

$lumi1025$ ="La luminosidad aumenta en un factor de entre 10 y 25"

$lumiMas25$ ="La luminosidad aumenta en un factor mayor a 25"

$noMasObs$ ="La observación no se ha producido en más observatorios"

$tonAzul$ ="La tonalidad es azulada"

$tonRoj$ ="La tonalidad es rojiza"

$nubes$ ="La noche es nublada"

$hierro$ =".E1 anexo detecta hierro"

$supernova$ ="Se ha detectado una supernova".

Así, definimos las **reglas** como:

¹Neil deGrasse Tyson no ha dicho nada de lo que se detalla en este documento, he usado su figura como elemento humorístico. Los datos usados para esta prueba, aunque están basados en conocimiento astrofísico real, han sido inventados para la elaboración de esta parte del proyecto de prácticas.

R1: Si lumi510 Entonces supernova, $FC=0.3$

R2: Si lumi1025 Entonces supernova, $FC=0.6$

R3: Si lumiMas25 Entonces supernova, $FC=0.9$

R4: Si noMasObs Entonces supernova, $FC=-0.5$

R5: Si tonAzul Entonces supernova, $FC=0.4$

R6: Si tonRoj Entonces supernova, $FC=-0.6$

R7: Si tonAzul Entonces tonRoj, $FC=-1$

R8: Si nubes Entonces supernova, $FC=-0.8$

R9: Si hierro Entonces tonAzul, $FC=0.4$

Y los **hechos**:

$FC(lumi1025)=1$, $FC(lumi510)=-1$, $FC(lumiMas25)=-1$, $FC(noMasObs)=1$, $FC(nubes)=0.05$, $FC(hierro)=0.7$

Red de inferencia

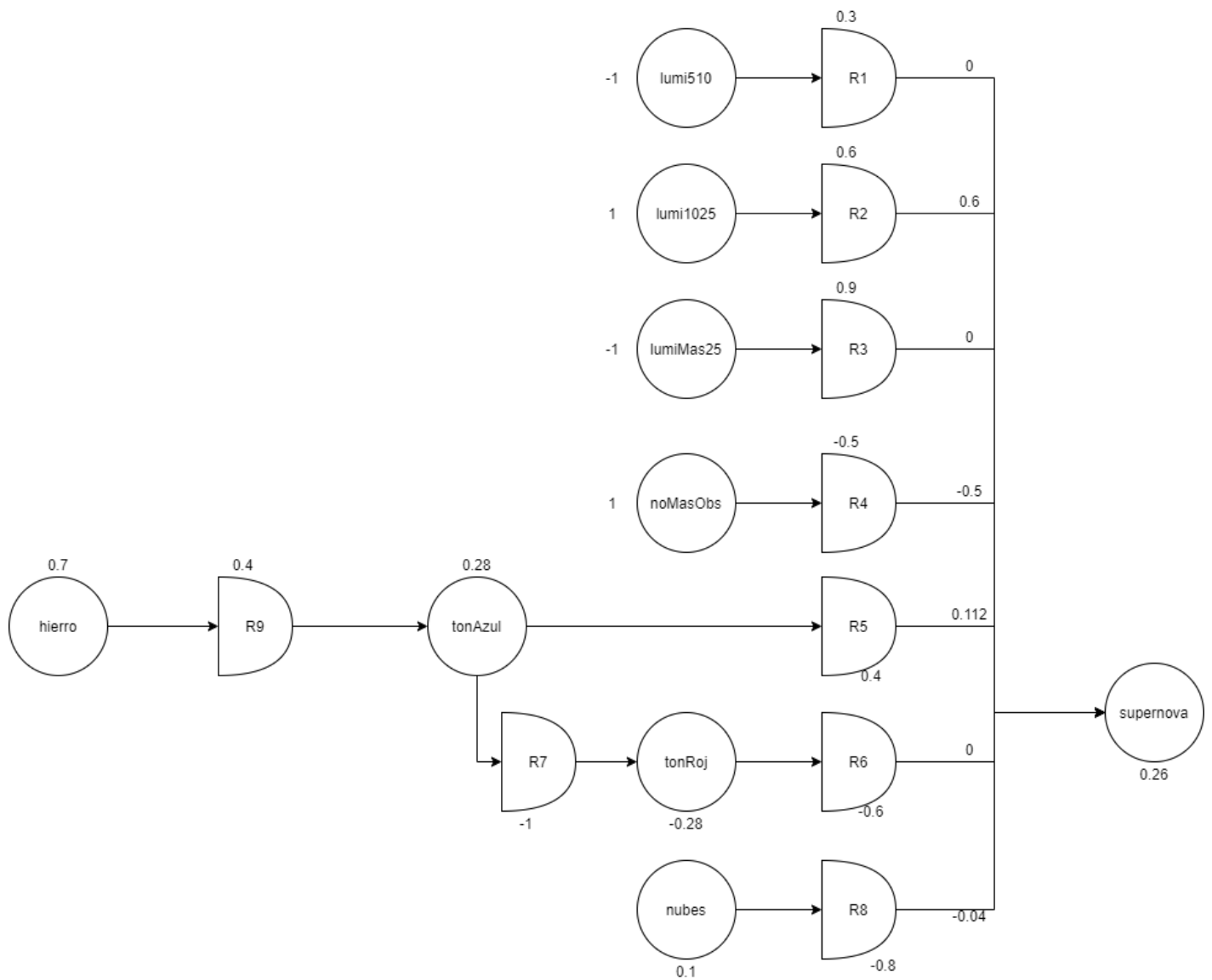


Figura 7: Red de Inferencia de la prueba 5

Con salida:


```

1 BC: bc5.txt
2 BH: bh5.txt
3 Comienza el encadenamiento hacia atrás
4 Procesando supernova
5 —Procesando lumi510
6     Es un hecho con FC = -1
7     El FC es negativo, el caso 3 hace que este FC sea 0
8     El FC calculado para la regla R1, Si lumi510 Entonces supernova, es 0
9 —Procesando lumi1025
10    Es un hecho con FC = 1
11    El FC calculado para la regla R2, Si lumi1025 Entonces supernova, es 0.6
12 —Procesando lumiMas25
13    Es un hecho con FC = -1
14    El FC es negativo, el caso 3 hace que este FC sea 0
15    El FC calculado para la regla R3, Si lumiMas25 Entonces supernova, es 0
16 —Procesando noMasObs
17    Es un hecho con FC = 1
18    El FC calculado para la regla R4, Si noMasObs Entonces supernova, es -0.5
19 —Procesando tonAzul
20 —Procesando hierro
21    Es un hecho con FC = 0.7
22    El FC calculado para la regla R9, Si hierro Entonces tonAzul, es 0.28
23    El FC calculado para tonAzul es 0.28
24    El FC calculado para la regla R5, Si tonAzul Entonces supernova, es 0.112
25 —Procesando tonRoj
26 —Procesando tonAzul
27    Es un hecho con FC = 0.28
28    El FC calculado para la regla R7, Si tonAzul Entonces tonRoj, es -0.28
29    El FC calculado para tonRoj es -0.28
30    El FC es negativo, el caso 3 hace que este FC sea 0
31    El FC calculado para la regla R6, Si tonRoj Entonces supernova, es -0
32 —Procesando nubes
33    Es un hecho con FC = 0.05
34    El FC calculado para la regla R8, Si nubes Entonces supernova, es -0.04
35    Aplicando el caso 2 a las reglas R1 y R2
36    Aplicando el caso 2 a las reglas R2 y R3
37    Aplicando el caso 2 a las reglas R3 y R4
38    Aplicando el caso 2 a las reglas R4 y R5
39    Aplicando el caso 2 a las reglas R5 y R6
40    Aplicando el caso 2 a las reglas R6 y R8
41    El FC calculado para supernova es 0.26
42 La meta supernova es cierta con FC = 0.26

```

Cuadro 8: Salida para la Prueba 5

¿Cuál es el FC de que hayamos detectado una supernova?

Según nuestro programa, el factor de certeza de que sea una supernova es 0.26.

4. Manual de Uso

Para usar el programa, debemos proporcionarle una base de conocimientos y una base de hechos.

La base de conocimientos debe ser un fichero de texto con el siguiente formato:

```

1 N Número natural indicando la cantidad de reglas (opcional)
2 R1: *Regla 1*, FC=*FC de la regla 1*
3 ...
4 RN: *Regla N*, FC=*FC de la regla N*
```

Cuadro 9: Formato de la base de conocimiento

Por ejemplo, la base de conocimiento de mi prueba 5 es:

```

1 9
2 R1: Si lumi510 Entonces supernova, FC=0.3
3 R2: Si lumi1025 Entonces supernova, FC=0.6
4 R3: Si lumiMas25 Entonces supernova, FC=0.9
5 R4: Si noMasObs Entonces supernova, FC=-0.5
6 R5: Si tonAzul Entonces supernova, FC=0.4
7 R6: Si tonRoj Entonces supernova, FC=-0.6
8 R7: Si tonAzul Entonces tonRoj, FC=-1
9 R8: Si nubes Entonces supernova, FC=-0.8
10 R9: Si hierro Entonces tonAzul, FC=0.4
```

Cuadro 10: Ejemplo de BC: Prueba 5

Y la base de hechos será otro fichero de texto, con formato:

```

1 M Número natural indicando la cantidad de hechos de partida (opcional)
2 *hecho1*, FC=*FC del hecho 1*
3 ...
4 *hechoM*, FC=*FC del hecho M*
5 Objetivo
6 *objetivo*
```

Cuadro 11: Formato de la base de hechos

Como ejemplo, la base de hechos de mi prueba 5:

```

1 6
2 lumi1025 , FC=1
3 lumi510 , FC=-1
4 lumiMas25 , FC=-1
5 noMasObs , FC=1
6 nubes , FC=0.05
7 hierro , FC=0.7
8 Objetivo
9 supernova

```

Cuadro 12: Ejemplo de BH: prueba 5

Una vez elaborados estos ficheros, de acuerdo con la especificación del problema que queremos resolver, debemos ejecutar el programa usando

SSII ruta_a_BC ruta_a_BH [Opcional]

Y el programa generará, en la carpeta en la que este se ejecute, un fichero con la información necesaria para entender el razonamiento hacia atrás, que será un .txt con nombre los nombres de la BC y la BH concatenados. Como ejemplo de este tipo de ficheros, remito al apartado anterior, donde podemos ver varios ejemplos, y concretamente el correspondiente a la prueba 5 que venimos usando de ejemplo en este manual de uso. Puntos importantes para entender el fichero de salida:

- Comienza indicando que se está procesando el objetivo proporcionado por la BH. Cada vez que se procesa un subobjetivo, veremos que estará indentado, con dos guiones (–) por cada nivel de profundidad en la red de inferencia.
- Cuando un objetivo es un hecho, se detalla inmediatamente tras indicar su procesamiento
- Cuando no es un hecho, veremos que se procesan sus antecedentes, y cuando es así, vemos de qué forma se utiliza el caso 1 para calcular el FC de cada regla, y el caso 2 para combinar los FC de todas las reglas cuyo consecuente es nuestro objetivo actual
- Cuando un objetivo no es un hecho y no tiene antecedentes, entendemos que no sabemos nada sobre él, y le asignamos FC=0, indicándolo en la salida
- Cuando termina de calcularse el FC de un objetivo, si este es susceptible de aplicación del caso 3, así se detalla
- Una vez el FC del objetivo principal es obtenido, veremos el mensaje "La meta *objetivo* es cierta con FC=*FC del objetivo*". Esto indicará el FC calculado, el fin del procesamiento y, en caso de solo haber un objetivo principal, el fin del fichero.

En el parámetro opcional podemos escribir cualquier cosa, y nos mostrará por terminal la BC y BH procesados por el programa, para fines de debugging y detección de errores.

5. Tiempo de trabajo

Tiempo dedicado a la Práctica	
Preparación de la práctica	2 horas
Desarrollo del software	10 horas
Elaboración de las pruebas propias	1 hora
Ejecución, comprobaciones y depuración de la salida	3 horas
Elaboración del informe y reflexión sobre los resultados	5 horas
Total	21 horas

Cuadro 13: Desglose del tiempo de trabajo

6. Conclusión y valoración personal

Como vemos, la representación del conocimiento y los razonamientos humanos de forma replicable por ordenadores no es una tarea sencilla. Aunque mediante los sistemas expertos hacemos un intento en esta dirección, habría que ver realmente hasta qué punto ofrecen resultados útiles y cómo podrían mejorarse.

Respecto a la práctica en sí, me ha parecido un poco caótica. Al implementar todos los aspectos del SBR, he terminado pasando la mayoría del tiempo pensando los detalles de las estructuras de datos, los formatos de entrada y salida, el tratamiento de errores y demás detalles de programación, que reflexionando sobre los SBR en sí, los factores de certeza y, en general, los temas propios de esta asignatura. Ciertamente, me ha parecido más didáctica que la primera práctica, pero no puedo evitar señalar que considero que esta asignatura tiene alto interés (especialmente para los alumnos del doble grado) y que quizás podría ser conveniente unas prácticas más prácticas. Por ejemplo, utilizar distintas librerías de IA (que hay infinidad) para realizar predicciones reales en algún contexto interesante. De esta forma creo que captaríamos mejor las fortalezas y debilidades de los temas dados a lo largo del cuatrimestre.

7. Bibliografía

- [1] Ejemplos de elaboración propia
- [2] Transparencias de la asignatura
- [3] <http://oa.upm.es/1034/1/10198801.pdf>