
MEMORIA PRÁCTICA 2

SISTEMAS INTELIGENTES

ASIGNATURA: Sistemas Inteligentes

CURSO: 2022/2023

FECHA DE ENTREGA: 28/12/2022

GRUPO: PCEO

PROFESORA: Maria del Carmen Garrido Carrera

ALUMNO: Pablo Tadeo Romero Orlowska

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	3
2.ALGORITMO.....	4
3.PRUEBAS.....	5
3.1 PRUEBA 2	5
3.2 PRUEBA 3	8
3.3 PRUEBA A.....	10
4. EJECUCIÓN	13
4.1 PRUEBA 1	13
4.2 PRUEBA 2	14
4.3 PRUEBA 3	16
4.4 PRUEBA A.....	17
5. CONCLUSIÓN.....	19

1. INTRODUCCIÓN

El presente documento se trata del informe de la segunda práctica de la asignatura Sistemas Inteligentes. El objetivo de esta práctica consiste en diseñar y construir un Sistema Basado en Reglas con conocimiento sobre la incertidumbre expresado en factores de certeza. Para ello, se diseñó e implementó un motor de inferencia con encadenamiento hacia atrás en C++.

Este documento consta de varias secciones. Primero, encontramos la presente introducción. En segundo lugar, se explica de forma breve el funcionamiento del algoritmo del SBR-FC. Tras esto, se encuentra un apartado en el cual se formalizaron los enunciados de las pruebas 2 y 3, se obtuvo las bases de conocimiento y de hechos y la red de inferencia. Además, se creó una nueva prueba (prueba A). Después, se encuentra un apartado en el cual se comenta el proceso de inferencia seguido por el algoritmo en cada una de las 4 pruebas y la conclusión a la que se llega. Finalmente, encontramos una conclusión de las prácticas.

2.ALGORITMO

En esta sección del documento se mostrará y se explicará el algoritmo diseñado para el Sistema Basado en Regla con Factores de Certeza.

```
funcion encadenamientoAtras(meta, BHInicial, BC)
{
    si contenida(meta, BHInicial) entonces
        devolver meta.fc;
    sino
    {
        cjtoReglas = equipararCons(Consecuentes(BC), meta);
        mientras noVacio(cjtoReglas) hacer
        {
            R = elegirRegla(cjtoReglas);
            eliminarRegla(R, cjtoReglas);
            nuevasMetas = extraerAntecedentes(R);
            mientras noVacio(nuevasMetas) hacer
            {
                nMeta = elegirMeta(nuevasMetas);
                eliminarMeta(nMeta, nuevasMetas);
                fc = encadenamientoAtras(nMeta, BHInicial, BC);
                fc_nuevasMetas = añadir(fc_nuevasMetas, fc);
            }
            fc_antecedentesR = calcularFC_caso1(fc_nuevasMetas);
            fc_metaReglas = calcularFC_caso3(fc_antecedentesR, R.fc);
        }
        si tamaño(fc_metaReglas) > 1 entonces
            fc_meta = calcularFC_caso2(fc_metaReglas);
        sino
            fc_meta = fc_metaReglas;
        devolver fc_meta;
    }
}
```

La idea principal del algoritmo se basa en la recursión. El caso base se da cuando la meta (objetivo) cuyo factor de certeza se quiere calcular se encuentra en la base de hechos. En este caso, simplemente se devuelve su factor de certeza.

En otro caso, se obtiene el conjunto de reglas (digamos *cjtoReglas*) cuyos consecuentes coinciden con la meta y se debe trabajar con cada una de las reglas de dicho conjunto. Mientras este conjunto no sea vacío, se elige una regla del conjunto (digamos *R*) y se elimina dicha regla *R* del conjunto (deben explorarse todas las reglas). A continuación, se seleccionan como nuevas metas los antecedentes de la regla elegida *R*. Ahora, se debe iterar con este conjunto de nuevas metas. Mientras el conjunto de nuevas metas no sea vacío, se elige una meta de dicho conjunto y se elimina de dicho conjunto (de nuevo, se deben explorar todas las nuevas metas). Con la nueva meta que se ha seleccionado se hace la llamada recursiva a la función, esta vez teniendo por meta la nueva meta seleccionada.

Se debe guardar en una estructura de datos (digamos *fc_nuevasMetas*) los factores de certeza que se van obteniendo. Ahora, en esta estructura de datos tendremos los factores de certeza de los antecedentes de la regla *R* (como una regla tiene al menos un antecedente, esta estructura puede tener 1 o más elementos) y debemos calcular el factor de certeza de los antecedentes combinados de la regla *R* si tuviese más de un antecedente (caso 1). Una vez calculado, se debe calcular el factor de certeza del consecuente de la regla *R* por dicha regla (encadenamiento de evidencia, caso 3). Estos dos últimos cálculos se realizan para cada regla del conjunto *cjtoReglas*, por lo que, se obtiene un conjunto de factores de certeza (digamos *fc_metaReglas*) tras el cálculo de factores de certeza en el caso 3 (puede ser que varias reglas compartan el mismo consecuente).

Finalmente, si el conjunto *fc_metaReglas* tiene un solo factor de certeza, lo que debe devolver la función recursiva es ese factor de certeza. En otro caso, estamos en la situación de adquisición incremental de evidencia (varias reglas que comparten el mismo consecuente, caso 2), por lo que, se debe de calcular el factor de certeza como en el caso 2. Este último factor de certeza es el que debe devolver la función recursiva.

En el algoritmo aparecen las funciones *calcularFC_caso1*, *calcularFC_caso2* y *calcularFC_caso3*, que como ya se ha mencionado, calculan el factor de certeza en el caso 1, caso 2 y caso 3, respectivamente. Estas funciones son idénticas a cómo se explica en las diapositivas que se debe calcular el factor de certeza en los 3 casos.

3. PRUEBAS

En esta sección del presente documento, para las pruebas 2, 3 y una adicional (*Prueba A*), se formalizarán los enunciados de los problemas y se mostrarán las bases de conocimiento y bases de hechos de cada uno. También se mostrará la red de inferencia de cada problema.

3.1 PRUEBA 2

A continuación, mostramos la formalización y el conjunto de reglas y hechos de la prueba 2.

PRÁCTICA 2 DE SISTEMAS INTELIGENTES

Sea la siguiente signatura:

$$\Sigma = \{localEST, visitanteRM, arbMod, publicoMayEST, publicoEqui, les2pivEST, les2pivRM, GanaEST, GanaRM\}$$

donde

localEST="El Estudiantes es el equipo local"

visitanteRM="El Real Madrid es el equipo visitante"

arbMod="Los árbitros son moderados"

publicoMayEST="El público es mayoritariamente del Estudiantes"

publicoEqui="El público está equilibrado para los dos equipos"

les2pivEST="El Estudiantes tiene 2 pivots lesionados"

les2pivRM="El Real Madrid tiene 2 pivots lesionados"

ganaEST="El Estudiantes gana"

ganaRM="El Real Madrid gana"

Con el siguiente conjunto de reglas,

R1: Si <i>arbMod</i> Entonces <i>ganaEST</i> ,	FC=0.4
R2: Si <i>arbMod</i> Entonces <i>ganaRM</i> ,	FC=0.75
R3: Si <i>publicoMayEST</i> Entonces <i>ganaRM</i>	FC=-0.4
R4: Si <i>publicoEqui</i> Entonces <i>ganaEST</i>	FC=-0.55
R5: Si <i>les2pivRM</i> y <i>visitanteRM</i> Entonces <i>ganaRM</i> ,	FC=-0.1
R6: Si <i>les2pivEST</i> Entonces <i>ganaEST</i> ,	FC=-0.6

Con el siguiente conjunto de hechos,

FC(*localEST*)=1

FC(*visitanteRM*)=1

FC(*arbMod*)=1

FC(*publicoMayEST*)=0.65

FC(*publicoEqui*)=0.35

FC(*les2pivEST*)=1

FC(*les2pivRM*)=1

La base de conocimiento que se obtiene (el fichero *BC-2.txt*) es la siguiente:

6

R1: Si *arbMod* Entonces *ganaEST*, FC=0.4

R2: Si arbMod Entonces ganaRM, FC=0.75

R3: Si publicoMayEST Entonces ganaRM, FC=-0.4

R4: Si publicoEqui Entonces ganaEST, FC=-0.55

R5: Si les2pivRM y visitanteRM Entonces ganaRM, FC=-0.1

R6: Si les2pivEST Entonces ganaEST, FC=-0.6

Se observa que para resolver la pregunta que se indica en el enunciado, debemos resolver el problema usando 2 bases de hechos distintas: una donde se indique que el objetivo es *ganaEST* y otra donde el objetivo sea *ganaRM*. Entonces, las bases de hechos que se obtienen (los ficheros *BH-2-ganaEST.txt* y *BH-ganaRM.txt*) son las siguientes:

7

localEST, FC=1

visitanteRM, FC=1

arbMod, FC=1

publicoMayEST, FC=0.65

publicoEqui, FC=0.35

les2pivEST, FC=1

les2pivRM, FC=1

Objetivo

ganaEST

7

localEST, FC=1

visitanteRM, FC=1

arbMod, FC=1

publicoMayEST, FC=0.65

publicoEqui, FC=0.35

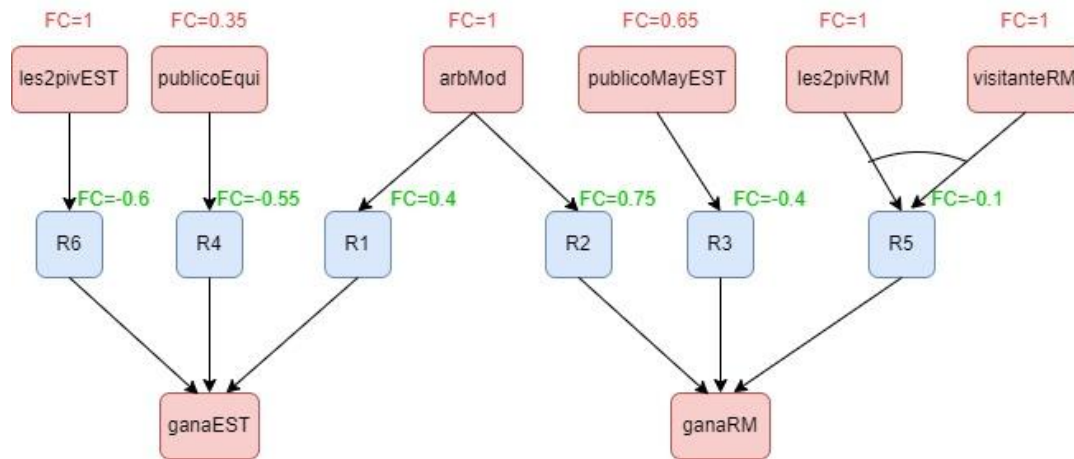
les2pivEST, FC=1

les2pivRM, FC=1

Objetivo

ganaRM

La red de inferencia que se obtiene a partir de la información disponible es la siguiente:



3.2 PRUEBA 3

A continuación, mostramos la formalización y el conjunto de reglas y hechos del problema de la prueba 3.

Sea la siguiente signatura

$$\Sigma = \{ant2o3, ant3oMas, exp, cond2o3, cond3oMas, can, noSolo, caus, jov, alchl\}$$

donde

ant2o3 = "El conductor tiene entre 2-3 años de antigüedad".

ant3oMas = "El conductor tiene 3 o más años de antigüedad".

exp = "El conductor es experimentado".

cond2o3 = "El conductor ha conducido entre 2-3 horas".

cond3oMas = "El conductor ha conducido durante más de 3 horas".

can = "El conductor está cansado".

noSolo = "El conductor no viaja solo".

jov = "El conductor es joven".

alchl = "El conductor ha bebido alcohol".

caus = "El conductor es el causante del accidente".

Con el siguiente conjunto de reglas,

R1: Si *ant2o3* Entonces *exp*, FC=0.5

R2: Si *ant3oMas* Entonces *exp*, FC=0.9

R3: Si *cond2o3* Entonces *can*, FC=0.5

R4: Si cond3oMas Entonces can,	FC=1
R5: Si exp y noSolo Entonces caus,	FC=-0.5
R6: Si can Entonces caus,	FC=0.5
R7: Si jov y alchl Entonces caus,	FC=0.7

Con el siguiente conjunto de hechos,

FC(jov)=0.4
FC(ant2o3)=1
FC(3oMas)=-1
FC(cond2o3)=-1
FC(cond3oMas)=1
FC(noSolo)=-1
FC(alchl)=0.5

La base de conocimiento que se obtiene (el fichero *BC-3.txt*) es la siguiente:

7

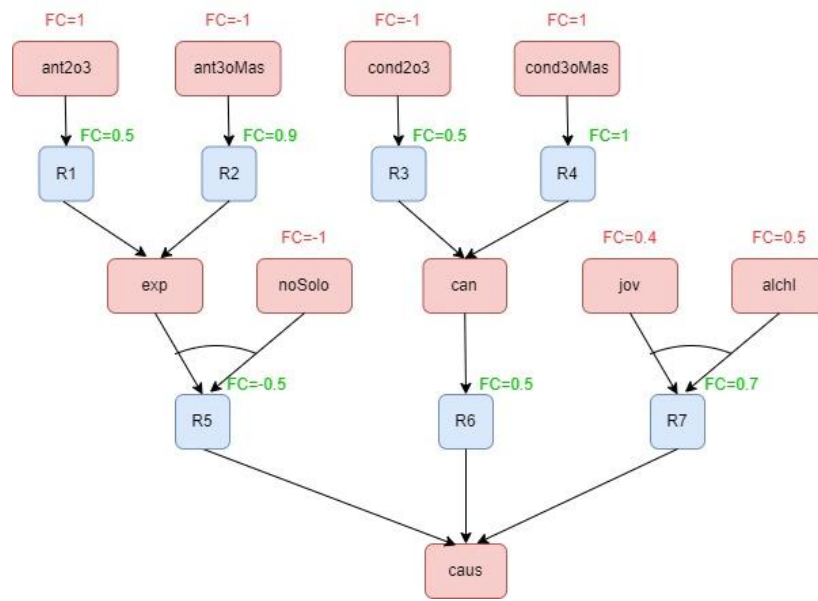
R1: Si ant2o3 Entonces exp, FC=0.5
R2: Si ant3oMas Entonces exp, FC=0.9
R3: Si cond2o3 Entonces can, FC=0.5
R4: Si cond3oMas Entonces can, FC=1
R5: Si exp y noSolo Entonces caus, FC=-0.5
R6: Si can Entonces caus, FC=0.5
R7: Si jov y alchl Entonces caus, FC=0.7

La base de hechos que se obtiene (el fichero *BH-3.txt*) es la siguiente:

7

jov, FC=0.4
ant2o3, FC=1
ant3oMas, FC=-1
cond2o3, FC=-1
cond3oMas, FC=1
noSolo, FC=-1
alchl, FC=0.5
Objetivo
caus

La red de inferencia que se obtiene a partir de la información disponible es la siguiente:



3.3 PRUEBA A

A continuación, mostramos el enunciado del problema:

Sabemos que ha ocurrido un robo en una joyería y que la policía ha detenido a una persona sospechosa. La policía la interroga en la comisaría y se dispone del siguiente conocimiento:

- *Si el sospechoso mira a otro lado o empieza a sudar sabemos con una certeza de 0.7 que miente.*
- *Si el sospechoso niega las acusaciones y parece sorprendido hay evidencia en contra (-0.6) de que miente.*
- *Si el sospechoso empieza a tartamudear sabemos con una certeza de 0.5 que miente.*
- *Si el sospechoso colabora en el interrogatorio hay evidencia en contra (-0.4) de que el sospechoso es culpable del robo.*
- *Si el sospechoso miente y tiene una actitud violenta sabemos con una certeza de 0.9 que es el culpable del robo.*

Y se dispone de las siguientes evidencias: el sospechoso ha estado mirando a otro lado con certeza 0.8 y ha sudado con grado de certeza 0.3. El sospechoso ha negado algunas acusaciones (con grado 0.5) y parecía totalmente sorprendido durante el interrogatorio (certeza 1). El sospechoso ha tartamudeado con certeza 0.6 y ha colaborado con grado de certeza 0.2. Además, ha tenido actitud violenta con grado de certeza 0.2.

Se pide el grado de certeza de que el sospechoso detenido sea el culpable del robo.

Formalización del problema:

Sea la siguiente signatura

$$\Sigma = \{mira, suda, niega, sorprendido, tartamudea, miente, colabora, violento, culpable\}$$

donde

mira = "El sospechoso miraba a otro lado durante el interrogatorio".

suda = "El sospechoso ha sudado durante el interrogatorio".

niega = "El sospechoso ha negado las acusaciones durante el interrogatorio".

sorprendido = "El sospechoso parecía sorprendido durante el interrogatorio".

tartamudea = "El sospechoso tartamudeaba durante el interrogatorio".

miente = "El sospechoso ha mentado durante el interrogatorio".

colabora = "El sospechoso ha colaborado durante el interrogatorio".

violento = "El sospechoso tenía una actitud violenta durante el interrogatorio".

culpable = "El sospechoso es culpable del robo".

Con el siguiente conjunto de reglas,

R2: Si mira o suda Entonces miente, FC=0.7

R2: Si niega y sorprendido Entonces miente, FC=-0.6

R3: Si tartamudea Entonces miente, FC=0.5

R4: Si colabora Entonces culpable, FC=-0.4

R5: Si miente y violento Entonces culpable, FC=0.9

Con el siguiente conjunto de hechos,

FC(mira)=0.8

FC(suda)=0.3

FC(niega)=0.5

FC(sorprendido)=1

FC(tartamudea)=0.6

FC(colabora)=0.2

FC(violento)=0.2

La base de conocimiento que se obtiene (fichero *BC-A.txt*) es la siguiente:

5

R1: Si mira o suda Entonces miente, FC=0.7

R2: Si niega y sorprendido Entonces miente, FC=-0.6

PRÁCTICA 2 DE SISTEMAS INTELIGENTES

R3: Si tartamudea Entonces miente, $FC=0.5$

R4: Si colabora Entonces culpable, $FC=-0.4$

R5: Si miente y violento Entonces culpable, $FC=0.9$

La base de hechos que se obtiene (fichero *BH-A.txt*) es la siguiente:

7

mira, $FC=0.8$

suda, $FC=0.3$

niega, $FC=0.5$

sorprendido, $FC=1$

tartamudea, $FC=0.6$

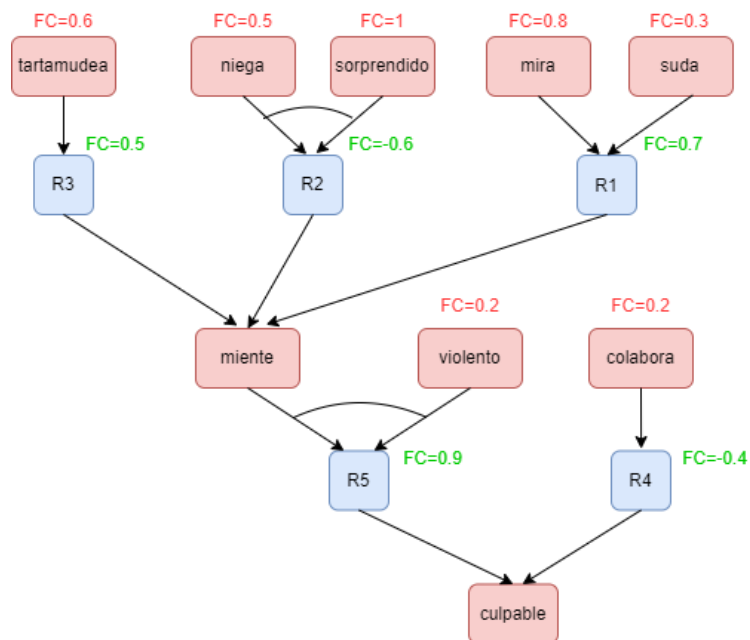
colabora, $FC=0.2$

violento, $FC=0.2$

Objetivo

Culpable

La red de inferencia que se obtiene a partir de la información disponible es la siguiente:



4. EJECUCIÓN

En esta sección del presente documento se explicará el proceso que ha ido siguiendo el algoritmo para la resolución de las pruebas 1, 2, 3 y A indicando el factor de certeza que ha obtenido para cada hecho y la conclusión que se tomaría con respecto a la pregunta indicada en cada enunciado.

4.1 PRUEBA 1

En cuanto a la prueba 1, tras la ejecución del algoritmo con la base de conocimiento *BC-1.txt* y base de hechos *BH-1.txt* se obtiene el siguiente *log* (fichero *salida-1.txt*):

R1:

Caso 1: A o B, FC = 0.6

Caso 3: C, FC = 0.42

R2:

Caso 1: D y E y F, FC = 0.7

Caso 3: C, FC = 0.35

Caso 2: C, FC = 0.623

R4:

Caso 3: H, FC = 0

R3:

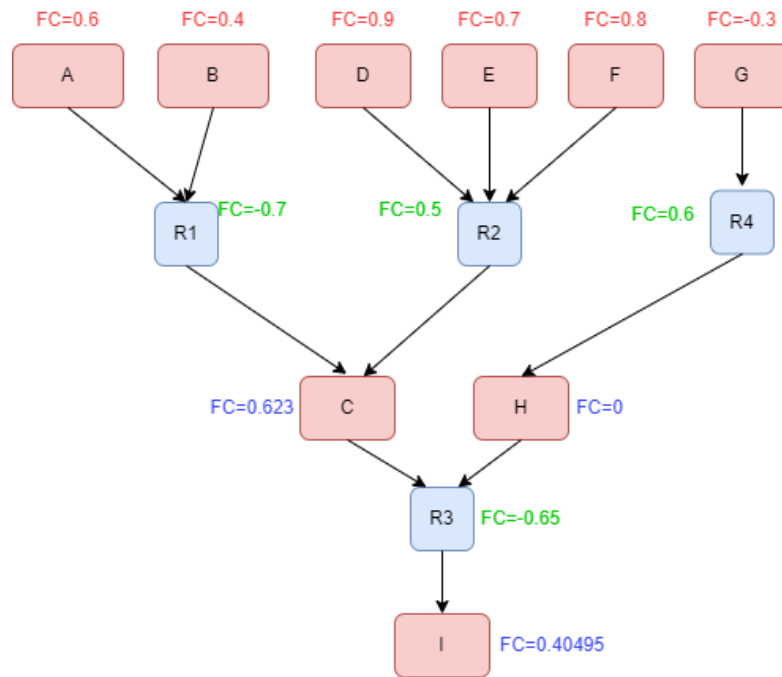
Caso 1: C o H, FC = 0.623

Caso 3: I, FC = 0.40495

I, FC = 0.40495

Se observa que primero calcula el factor de certeza de los antecedentes de la regla R1 (caso 1) y resuelve la propagación de $FC(C)$ por la regla R1 (caso 3). En segundo lugar, calcula el factor de certeza de los antecedentes de R2 (caso 1) y resuelve la propagación de $FC(C)$ por la regla R2 (caso 3). Después, calcula la acumulación de $FC(C)$ por R1 y R2 (caso 2), obteniendo **$FC(C) = 0.623$** . Luego, resuelve la propagación de $FC(H)$ por la R4, obteniendo **$FC(H) = 0$** . Finalmente, calcula el factor de certeza de los antecedentes de la regla R3 (caso 1) y resuelve la propagación de $FC(I)$ por R4, obteniendo **$FC(I) = 0.40495$** .

La red de inferencia que se obtiene tras la ejecución del algoritmo es la siguiente:



Con toda la información disponible obtenemos $FC(I) = 0.40495$. Por tanto, creemos que el hecho I se cumple con grado 0.40495.

4.2 PRUEBA 2

En cuanto a la prueba 2, tras la ejecución del algoritmo con la base de conocimiento *BC-2.txt* y la base de hechos *BH-2-ganaES.txt* se obtiene el siguiente *log* (fichero *salida-2-ganaEST.txt*):

R1:

Caso 3: ganaEST, FC = 0.4

R4:

Caso 3: ganaEST, FC = -0.1925

R6:

Caso 3: ganaEST, FC = -0.6

Caso 2: ganaEST, FC = 0.256966

Caso 2: ganaEST, FC = -0.461667

ganaEST, FC = -0.461667

Se observa que primero se resuelve la propagación de $FC(ganaEST)$ por las reglas R1, R4 y R6 (caso 3) y finalmente, resuelve la acumulación por las tres reglas (caso 2), obteniendo así **$FC(ganaEST) = -0.461667$** . Cabe destacar que primero calcula la acumulación por las reglas R1 y R4, obteniendo $FC(ganaEST_{R1,R4}) = 0.256966$ y después la acumulación por las tres reglas.

Tras la ejecución del algoritmo con la base de conocimiento *BC-2.txt* y la base de hechos *BH-2-ganaRM.txt* se obtiene el siguiente log (fichero *salida-2-ganaRM.txt*):

R2:

Caso 3: ganaRM, FC = 0.75

R3:

Caso 3: ganaRM, FC = -0.26

R5:

Caso 1: les2pivRM y visitanteRM, FC = 1

Caso 3: ganaRM, FC = -0.1

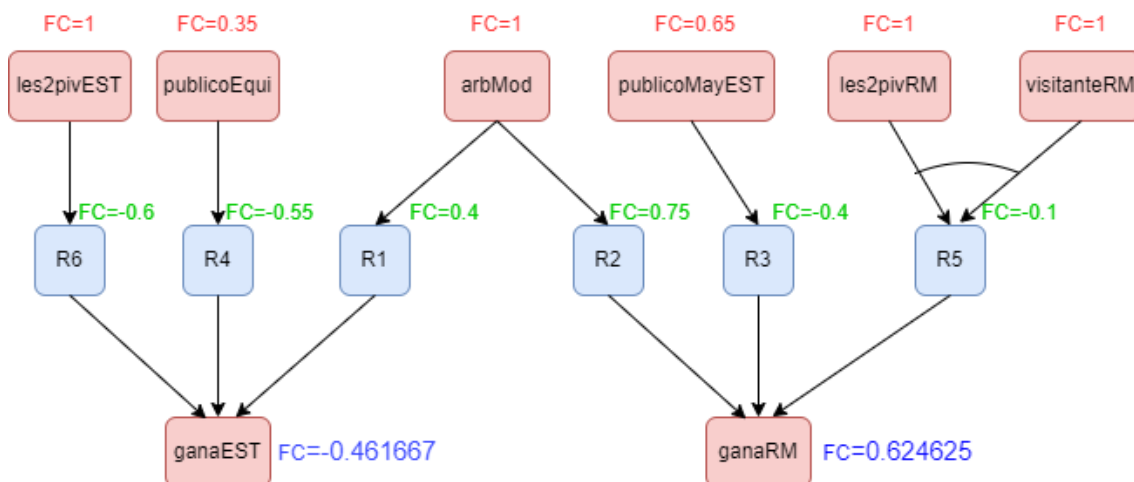
Caso 2: ganaRM, FC = 0.662162

Caso 2: ganaRM, FC = 0.624625

ganaRM, FC = 0.624625

Se observa que primero resuelve la propagación de $FC(ganaRM)$ por las reglas R2 y R3 (caso 3). Luego, para la regla R5 calcula el factor de certeza de los antecedentes (caso 1) y resuelve la propagación. Finalmente, resuelve la acumulación por las tres reglas (caso 2), obteniendo así **$FC(ganaRM) = 0.624625$** . Cabe destacar que primero calcula la acumulación por las reglas R2 y R3, obteniendo $FC(ganaRM_{R2,R3}) = 0.662162$ y después la acumulación por las tres reglas.

La red de inferencia que se obtiene tras la ejecución del algoritmo es la siguiente:



Con toda la información disponible obtenemos $FC(\text{ganaEST}) = -0.461667$ y $FC(\text{ganaRM}) = 0.624625$. Por tanto, creemos que el Real Madrid ganará el encuentro con grado de certeza 0.624625.

4.3 PRUEBA 3

En cuanto a la prueba 3, tras la ejecución del algoritmo con la base de conocimiento *BC-3.txt* y base de hechos *BH-3.txt* se obtiene el siguiente *log* (fichero *salida-3.txt*):

R1:

Caso 3: exp, FC = 0.5

R2:

Caso 3: exp, FC = 0

Caso 2: exp, FC = 0.5

R5:

Caso 1: exp y noSolo, FC = -1

Caso 3: caus, FC = 0

R3:

Caso 3: can, FC = 0

R4:

Caso 3: can, FC = 1

Caso 2: can, FC = 1

R6:

Caso 3: caus, FC = 0.5

R7:

Caso 1: jov y alchl, FC = 0.4

Caso 3: caus, FC = 0.28

Caso 2: caus, FC = 0.5

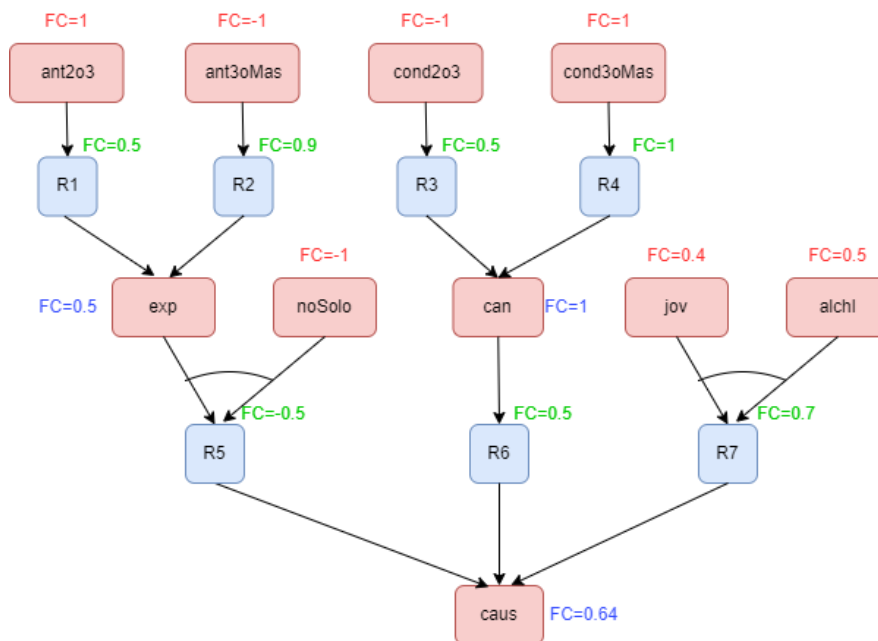
Caso 2: caus, FC = 0.64

caus, FC = 0.64

Se observa que primero resuelve la propagación de $FC(\text{exp})$ por las reglas R1 y R2 (caso 3) y resuelve la acumulación de $FC(\text{exp})$ por R1 y R2 obteniendo $FC(\text{exp}) = 0.5$. En segundo lugar, resuelve la propagación de $FC(\text{caus})$ por R5 (caso 3) calculando antes el factor de certeza del antecedente (caso 1). Después, resuelve la propagación de $FC(\text{can})$ por las reglas R3 y R4 y resuelve la acumulación por las reglas R3 y R4 (caso 2) obteniendo $FC(\text{can}) = 1$. Luego, resuelve la propagación de $FC(\text{caus})$ por las reglas R6 y R7 (caso 3). Finalmente, resuelve la acumulación de $FC(\text{caus})$ por las reglas R5, R6 y R7 obteniendo $FC(\text{caus}) = 0.64$. Cabe destacar que primero

calcula la acumulación por las reglas R5 y R6, obteniendo $FC(caus_{R5,R6}) = 0.5$ y después la acumulación por las tres reglas.

La red de inferencia que se obtiene tras la ejecución del proceso de inferencia es la siguiente:



Con toda la información disponible obtenemos $FC(\text{caus}) = 0.64$ y por tanto, creemos que el conductor ha sido el causante del accidente con grado de certeza 0.64.

4.4 PRUEBA A

En cuanto a la prueba A, tras la ejecución del algoritmo con la base de conocimiento *BC-A.txt* y base de hechos *BH-A.txt* se obtiene el siguiente *log* (archivo *salida-A.txt*):

R4:

Caso 3: culpable, FC = -0.08

R1:

Caso 1: mira o suda, $FC = 0.8$

Caso 3: miente, FC = 0.56

R2:

Caso 1: niega y sorprendido, FC = 0.5

Caso 3: miente, $FC = -0.3$

R3:

Caso 3: mente, $FC = 0.3$

Caso 2: miente, $FC = 0.371429$

Caso 2: miente, $FC = 0.56$

R5:

Caso 1: miente y violento, $FC = 0.2$

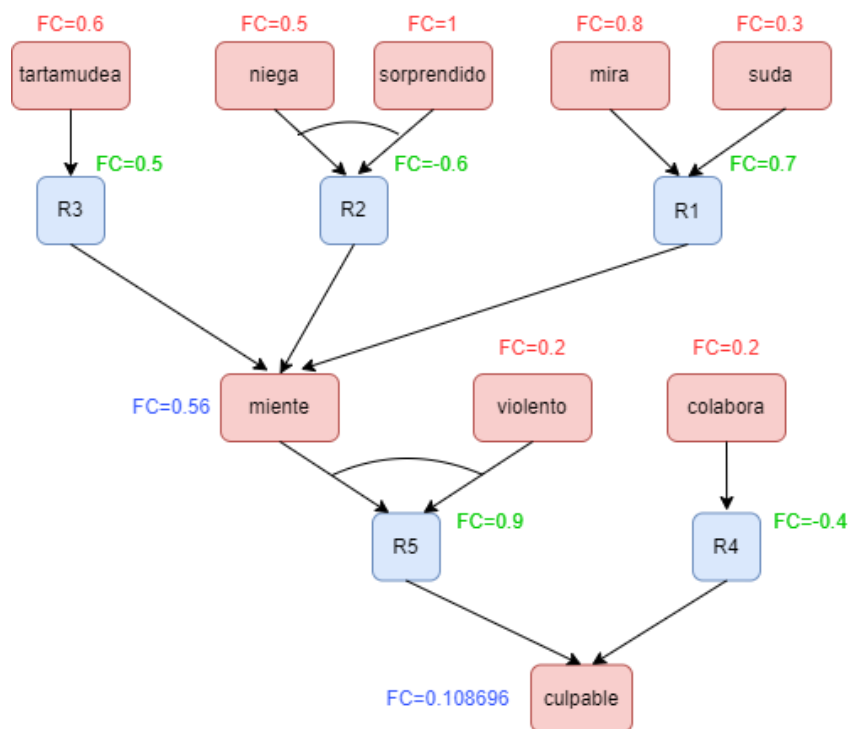
Caso 3: culpable, $FC = 0.18$

Caso 2: culpable, $FC = 0.108696$

culpable, $FC = 0.108696$

Se observa que en primer lugar se calcula la propagación de $FC(culpable)$ por la regla R4. En segundo lugar, se calcula la propagación de $FC(miente)$ por la regla R1 habiendo calculado previamente el factor de certeza del antecedente (caso 1). En tercer lugar, se calcula la propagación de $FC(miente)$ por las reglas R2 y R3 habiendo calculado previamente el factor de certeza del antecedente (caso 1). Después, se resuelve la acumulación de $FC(miente)$ por las reglas R1, R2 y R3 obteniendo $FC(miente) = 0.56$ (cabe destacar que primero calcula la acumulación por las reglas R1 y R2, obteniendo $FC(miente_{R1,R2}) = 0.371429$ y después la acumulación por las tres reglas). Luego, resuelve la propagación de $FC(culpable)$ por R5 habiendo calculado previamente el factor de certeza del antecedente (caso 1). Finalmente, resuelve la acumulación de $FC(culpable)$ por las reglas R4 y R5 obteniendo $FC(culpable) = 0.108696$.

La red de inferencia que se obtiene tras la ejecución del algoritmo es la siguiente:



Con toda la información disponible obtenemos $FC(culpable) = 0.108696$ y por tanto, creemos que el detenido ha sido el culpable del robo con un grado de certeza muy bajo, 0.108696.

5. CONCLUSIÓN

A modo de conclusión, estoy muy satisfecho con el resultado final de la práctica, ya que se ha podido realizar todo lo que se pedía de forma satisfactoria, aún encontrado algunas dificultades.

Así, pienso que ésta ha sido una práctica amena y que me ha ayudado a comprender mejor los conceptos vistos en la teoría de la asignatura, además de que se ha podido ver cómo funcionan todos estos conceptos de una manera más práctica.