
Universidad de Murcia

Sistemas Inteligentes

Práctica 2: Sistemas Basados en Reglas con incertidumbre

Autor

Rubén Gaspar Marco

Curso 4º PCEO

Grupo PCEO

Entregado el 20 de diciembre de 2020

Índice

1. Introducción	3
1.1. Sistemas Basados en Reglas	3
1.2. Factores de certeza	3
2. Diseño del SBR-FC	4
2.1. Equiparación	4
2.2. Resolución	4
2.3. Algoritmo principal	4
3. Pruebas	5
3.1. Prueba 1	6
3.1.1. Red de inferencia	6
3.1.2. Resultado/Conclusión	6
3.2. Prueba 2	7
3.2.1. Red de inferencia	7
3.2.2. Resultado/Conclusión	7
3.3. Prueba 3	7
3.3.1. Formalización	7
3.3.2. BC	8
3.3.3. BH	8
3.3.4. Red de inferencia	9
3.3.5. Resultado/Conclusión	9
3.4. Prueba 4	9
3.4.1. Enunciado	9
3.4.2. Formalización	10
3.4.3. BC	10
3.4.4. BH	10
3.4.5. Red de inferencia	11
3.4.6. Resultado/Conclusión	11
3.5. Prueba 5	11
3.5.1. Enunciado	11
3.5.2. Formalización	12
3.5.3. BC	12
3.5.4. BH	12
3.5.5. Red de inferencia	13
3.5.6. Resultado/Conclusión	13

1. Introducción

1.1. Sistemas Basados en Reglas

Los Sistemas Basados en Reglas (SBR) emulan la capacidad de un ser humano de poder razonar en base a unas reglas deterministas, que nos definen un escenario concreto, a través del *modus ponens* (razonamiento deductivo). Estos sistemas constan de tres elementos:

Base de Hechos (BH) Datos que representan el estado actual de la resolución del problema. Estos datos pueden proceder de:

- fuentes externas que introducen datos iniciales y/o durante el proceso,
- hechos inferidos a través de la aplicación de las reglas de la BC, o
- metadatos del problema (meta, subproblemas, etc.)

Base de Conocimiento (BC) Conjunto de reglas que definen el problema y nos permiten inferir nuevos hechos a partir de los que ya se encuentran en la BH. Las reglas son pares condición-acción de la forma

Condición (o antecedente) \rightarrow Acción (o consecuente),

donde la parte izquierda es la premisa que debe cumplirse para poder deducir la parte derecha o conclusión.

Motor de inferencia (MI) Algoritmo que permite aplicar las reglas de la BC a los hechos de la BH obteniendo nuevos hechos (conclusiones). Consiste en ejecutar los siguientes pasos hasta alcanzar la meta (el hecho que representa la meta es introducido a la BH) o una acción de parada que representa el fracaso de alcanzar dicha meta:

1. Se buscan el conjunto de reglas (**conjunto conflicto**) que permiten avanzar en la resolución del problema (**equiparación**). El razonamiento por el que una regla se añade al conjunto conflicto puede ser:
 - a) Buscar las reglas cuyos antecedentes sean compatibles con los hechos almacenados en la BH (encaminamiento hacia delante), o
 - b) Buscar aquellas cuyo consecuentes contengan la meta a alcanzar, convirtiendo sus antecedentes en las nuevas metas (encadenamiento hacia atrás).
2. una regla del conjunto conflicto es seleccionada para ser aplicada (**resolución**), y finalmente
3. se ejecuta la regla seleccionada, actualizando la BH con los hechos resultantes de aplicarla.

1.2. Factores de certeza

En ciertas ocasiones, los escenarios sobre los que deseamos realizar inferencias no están definidos de manera clara, ya sea porque las reglas que nos definen el problema no son completamente deterministas (falta de certidumbre en las reglas), por falta de precisión en la descripción del estado actual del problema (falta de certidumbre en los hechos) o por ambas dos. En estas ocasiones el sistema ha de ser capaz de manejar conocimiento incierto si pretende emular el razonamiento humano, y por lo tanto es necesaria una extensión en el modelo de representación del conocimiento. Una opción es añadir los llamados **factores de certeza**.

A cada unidad de conocimiento (hechos y reglas) se le asigna un valor real $cf \in [-1, 1]$ al que llamamos **factor de certeza**, que representa la certidumbre existente sobre la hipótesis que concluye esa unidad de conocimiento (-1 si completamente falsa y 1 si es completamente cierta). En el caso de los **hechos**, por ejemplo, este factor mide su veracidad y tiene su origen, o bien en la entrada de datos por fuentes externas que en general no pueden asegurar la veracidad del hecho introducido, o bien en la propagación de la incertidumbre provocada por encadenar inferencias (aplicaciones de reglas) generalmente inciertas que concluyen dicho hecho.

A la hora de realizar el proceso de inferencia, los factores de certeza han de combinarse para que la certidumbre final sobre la hipótesis tenga en cuenta todo el conocimiento aplicable. A estas combinaciones se les exigen las siguientes propiedades, parecidas a las de una función de probabilidad:

1. **Conmutatividad y asociatividad**, para que el resultado sea independiente del orden en que se aplican las reglas.
2. La combinación de los antecedentes (literales) de una misma regla se produce de la siguiente manera:
 - a) Si es una conjunción de literales se utiliza el menor factor de certeza.
 - b) Si es una disyunción de literales se utiliza el mayor factor de certeza.
3. **Aditividad** en la combinación de reglas con la misma hipótesis, pues cuantas más evidencias soporten (resp. nieguen) una hipótesis más confianza podemos tener en (resp. la negación de) esa hipótesis. Es decir, sean FC_1 y FC_2 los factores de certeza de una hipótesis concluida por dos reglas distintas, su factor de certeza combinado es

$$\text{Combinar}_{\text{CASO}_2}(FC_1, FC_2) = \begin{cases} FC_1 + FC_2(1 - FC_1) & \text{si } FC_1, FC_2 \geq 0 \\ FC_1 + FC_2(1 + FC_1) & \text{si } FC_1, FC_2 \leq 0 \\ \frac{FC_1 + FC_2}{1 - \min\{|FC_1|, |FC_2|\}} & \text{si } FC_1 \cdot FC_2 < 0 \end{cases}$$

4. La encadenación consecutiva de reglas debe poseer un factor de certeza menor o igual que cada uno de los factores de certeza de las reglas, pues cada inferencia incierta realizada durante el proceso debe restar certeza en la hipótesis final. Esto se traduce en que si FC_R, FC_A son respectivamente el factor de certeza de una regla R de una encadenación y el factor de certeza combinado de la parte de la encadenación que queda a la izquierda de R , entonces el factor de certeza resultante de añadir R a la encadenación es

$$\text{Combinar}_{\text{CASO}_3}(FC_A, FC_R) = FC_R \cdot \max\{0, FC_A\}$$

2. Diseño del SBR-FC

En este apartado diseñaremos un SBR con encadenamiento hacia atrás que sea capaz de manejar factores de certeza y al que llamaremos SBR-FC. La BC y la BH queda diseñada (en forma de fichero) en el guión de la práctica, por lo que nos limitaremos a diseñar el MI.

Antes de diseñar el algoritmo principal del MI, es necesario pensar dos subalgoritmos de los que depende el principal, que son el proceso de equiparación y de resolución.

2.1. Equiparación

La equiparación $\text{Equiparar}(BC, \text{meta})$ consistirá en un recorrido de la BC que comprobará qué reglas (utilizando su índice) han sido ya usadas en el proceso de inferencia y cuáles de las que no han sido usadas cumplen que su parte derecha es igual a meta, añadiendo estas últimas al conjunto de reglas devuelto.

2.2. Resolución

Debido a la escasez de tiempo del que dispongo para realizar la práctica, la resolución $\text{Resolver}(\text{conjunto_conflicto})$ se realizará según el sencillo criterio estático de seleccionar la regla del conjunto que tenga menor índice.

Otro tipo de resolución es la que tiene que hacerse para escoger la nueva meta a perseguir en SeleccionarMeta . Para este caso obtendremos las metas en orden inverso a en el que aparecen como premisas de la regla con la que se está trabajando.

2.3. Algoritmo principal

El algoritmo principal consistirá en hacer una llamada a la función $\text{Verificar}(\text{meta})$ (algoritmo 1), que nos devolverá el factor de certeza del hecho objetivo (meta) resultado de inferir sobre los hechos iniciales almacenados en la BH y las reglas almacenadas en la BC en el momento de la llamada.

Es de suma importancia señalar que mientras las variables BC, BH son globales a todas las llamadas de la función Verificar , todas las demás son locales a cada llamada, y por lo tanto no se ven afectadas en el proceso de recursión.

Función Verificar(meta):

```
si EsHecho(meta) entonces devolver FC(meta);  
sinó  
    FCFinal  $\leftarrow$  0;  
    conjunto_conflicto  $\leftarrow$  Equiparar(BC, meta);  
    mientras No(EsVacío(conjunto_conflicto)) hacer  
        regla  $\leftarrow$  Resolver(conjunto_conflicto);  
        Eliminar(regla, conjunto_conflicto);  
        nuevas_metas  $\leftarrow$  Antecedentes(regla);  
        si AntecedenteEsDisyunción(regla) entonces FCCombinado  $\leftarrow$  -1;  
        sinó FCCombinado  $\leftarrow$  1;  
        repetir  
            nueva_meta  $\leftarrow$  SeleccionarMeta(nuevas_metas);  
            Eliminar(nueva_meta, nuevas_metas);  
            FCLiteral  $\leftarrow$  Verificar(nueva_meta);  
            si AntecedenteEsDisyunción(regla) entonces FCCombinado  $\leftarrow$  Máx(FCCombinado, FCLiteral);  
            sinó FCCombinado  $\leftarrow$  Mín(FCCombinado, FCLiteral);  
        hasta que EsVacío(nuevas_metas);  
        FCCombinado  $\leftarrow$  CombinarCASO_3(FCCombinado, FC(regla));  
        FCFinal  $\leftarrow$  CombinarCASO_2(FCFinal, FCCombinado);  
    fin  
    si FCFinal  $\neq$  0 entonces AñadirHecho(meta, FCFinal, BH);  
    devolver FCFinal;  
fin
```

Fin

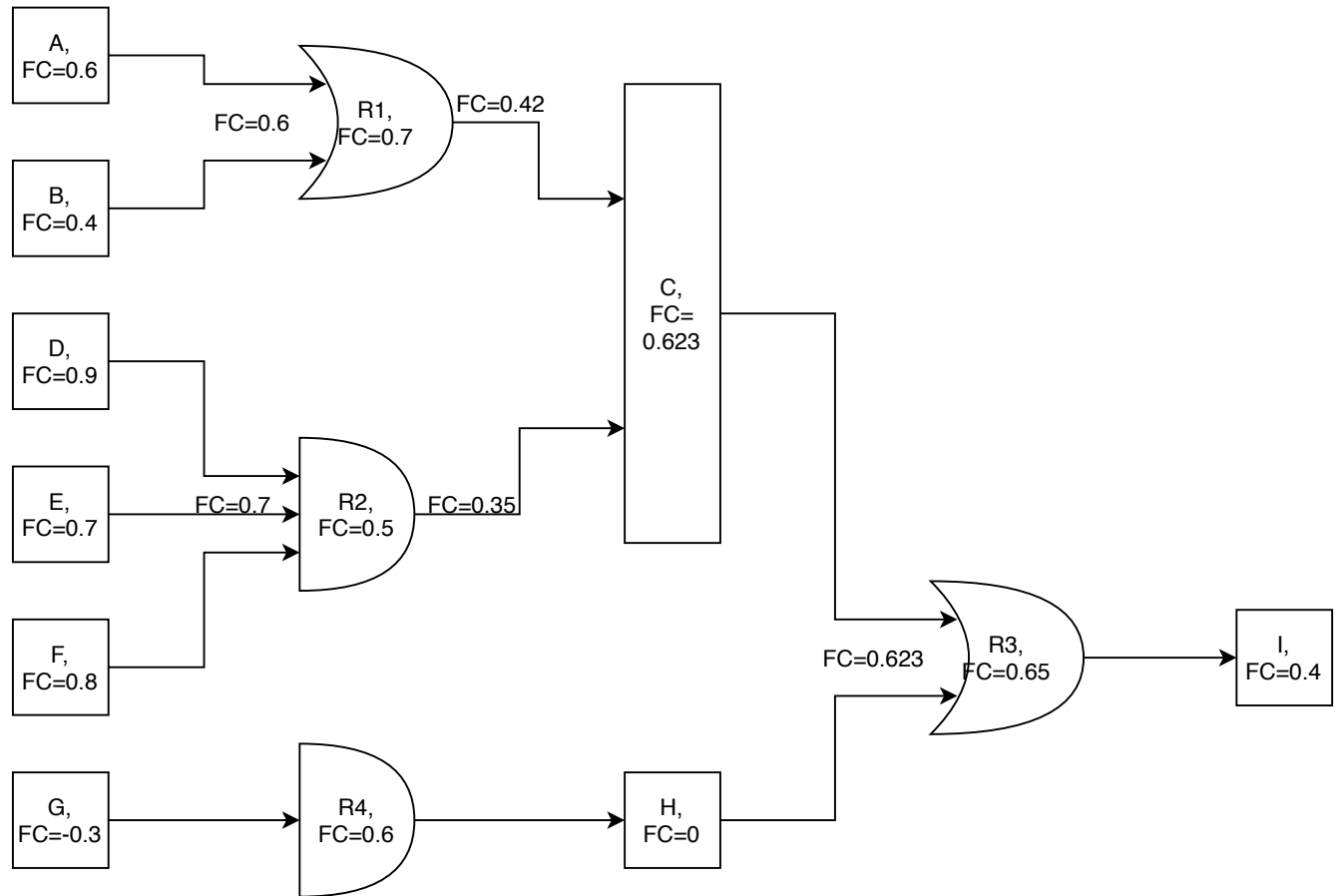
Algoritmo 1: Función Verificar del MI del SBR-FC

3. Pruebas

En esta sección se presenta el diseño y la ejecución de distintas pruebas para validar el sistema construido. Los diseños de las pruebas 1 y 2 están completas y de la 3 solo tenemos el enunciado.

3.1. Prueba 1

3.1.1. Red de inferencia

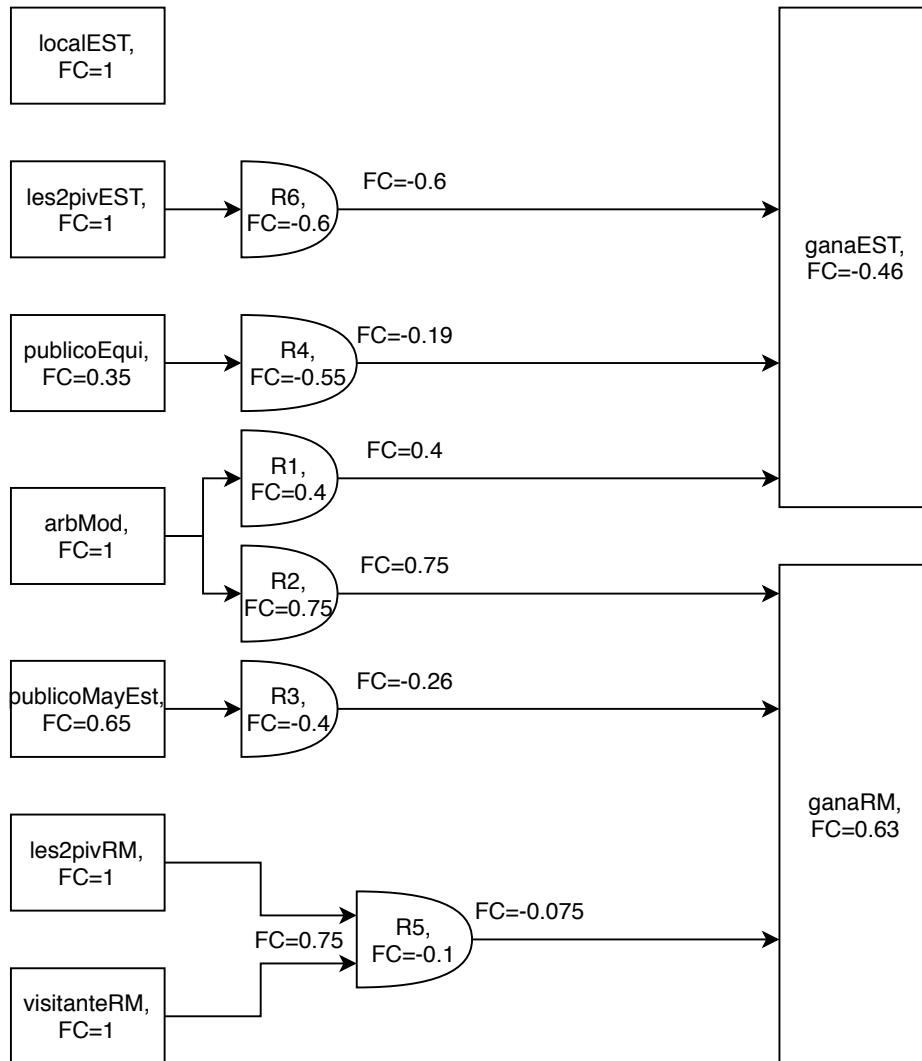


3.1.2. Resultado/Conclusión

Se cumple I con un grado de certeza de 0,4, por lo que consideramos que hay evidencia a favor de que se cumple I.

3.2. Prueba 2

3.2.1. Red de inferencia



3.2.2. Resultado/Conclusión

Hay cierta evidencia en contra (-0,46) de que gane el Estudiantes y una evidencia considerable (0,63) de que gane el Real Madrid, por lo que esperamos que gane el Real Madrid.

3.3. Prueba 3

3.3.1. Formalización

A partir del enunciado que se nos presenta en el documento "Prueba-3--(enunciado).pdf", obtenemos la siguiente signatura:

$$\Sigma = \{\text{Exp, Antig2-3, Antig3+, Cansado, Conduce2-3, Conduce3+, Acompañado, Joven, Alcohol, Causante}\},$$

donde la representación de cada símbolo está dada por:

Exp "El conductor es experimentado"

Antig2-3 "El conductor tiene una antigüedad entre 2-3 años"

Antig3+ "El conductor tiene una antigüedad de más de 3 años"

Cansado "El conductor estaba cansado cuando sucedió el accidente"

Conduce2-3 "El conductor había conducido entre 2-3 horas"

Conduce3+ "El conductor había conducido durante más de 3 horas"

Acompañado "El conductor no viajaba solo"

Joven "El conductor es joven"

Alcohol "El conductor había bebido alcohol"

Causante "El conductor es el causante del accidente"

3.3.2. BC

Reglas:

- R1: Si Antig2-3 Entonces Exp, FC=0.5
- R2: Si Antig3+ Entonces Exp, FC=0.9
- R3: Si Conduce2-3 Entonces Cansado, FC=0.5
- R4: Si Conduce3+ Entonces Cansado, FC=1
- R5: Si Exp y Acompañado Entonces Causante, FC=-0.5
- R6: Si Cansado Entonces Causante, FC=0.5
- R7: Si Joven y Alcohol Entonces Causante, FC=0.7

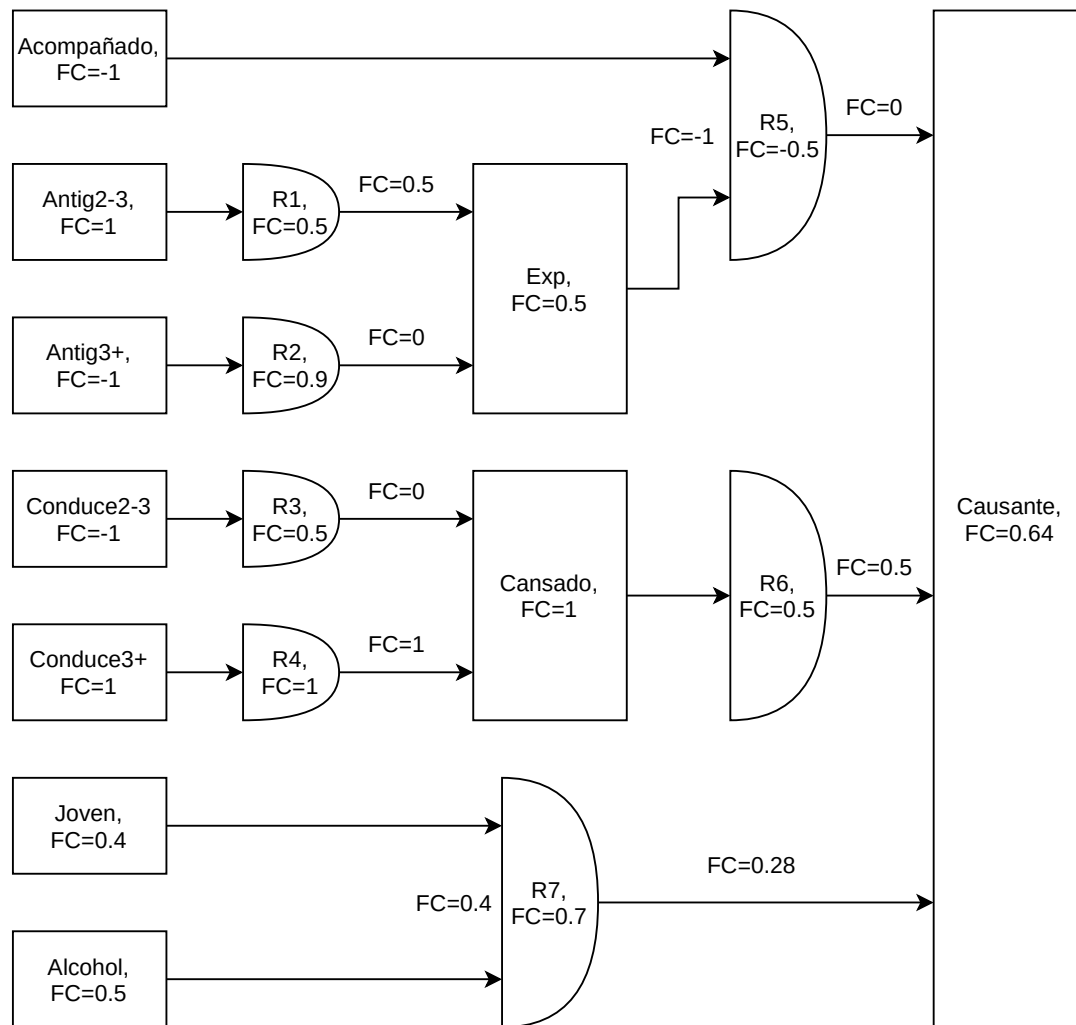
3.3.3. BH

Hechos:

- $FC(\text{Joven}) = 0.4$
- $FC(\text{Antig2-3}) = 1$
- $FC(\text{Antig3+}) = -1$
- $FC(\text{Conduce2-3}) = -1$
- $FC(\text{Conduce3+}) = 1$
- $FC(\text{Acompañado}) = -1$
- $FC(\text{Alcohol}) = 0.5$

Meta: Causante

3.3.4. Red de inferencia



3.3.5. Resultado/Conclusión

Consideramos que el conductor ha sido el causante del accidente con una certeza del 0,64.

3.4. Prueba 4

3.4.1. Enunciado

Sea un sistema inteligente cuya función es detectar si un paciente tiene COVID-19¹ en función de su sintomatología. La base de conocimiento de la que dispone está compuesta de las siguientes reglas:

1. Si aparece súbitamente fiebre y tos, la persona es sospechosa de tener COVID-19 (0,5).
2. Si la persona es contacto estrecho de un caso positivo, se trata de un caso probable de COVID-19 (0,7).
3. Una persona se considera contacto estrecho si ha estado con una persona positiva sin medidas de protección, a menos de dos metros y durante más de 15min.

Se presenta un paciente con una temperatura de 38°C (0,7 certeza de tener fiebre), acompañada además por tos y ha estado a menos de dos metros y sin protección con una persona que ha dado positivo por COVID-19. ¿El paciente tiene COVID-19?

¹ Este documento no se compromete a ser fiel a la realidad en cuanto a la precisión de los datos de enfermedades expuestos.

3.4.2. Formalización

- Signatura:

$$\Sigma = \{\text{Fiebre, Tos, NoProtección, NoDistancia, Durac15+, Contacto, COVID}\},$$

donde la representación de cada símbolo está dada por:

Fiebre “El paciente tiene fiebre”

Tos “El paciente tiene tos”

NoProtección “El paciente ha estado con el positivo sin protección”

NoDistancia “El paciente ha estado a menos de 2 metros del positivo”

Durac15+ “El paciente ha estado más de 15min con el positivo”

Contacto “Al paciente se le considera contacto estrecho de un positivo”

COVID “El paciente tiene COVID-19”

3.4.3. BC

Reglas:

- R1: Si Fiebre y Tos Entonces COVID, FC=0.5
- R2: Si Contacto Entonces COVID, FC=0.7
- R3: Si NoProtección y NoDistancia y Durac15+ Entonces Contacto, FC=1

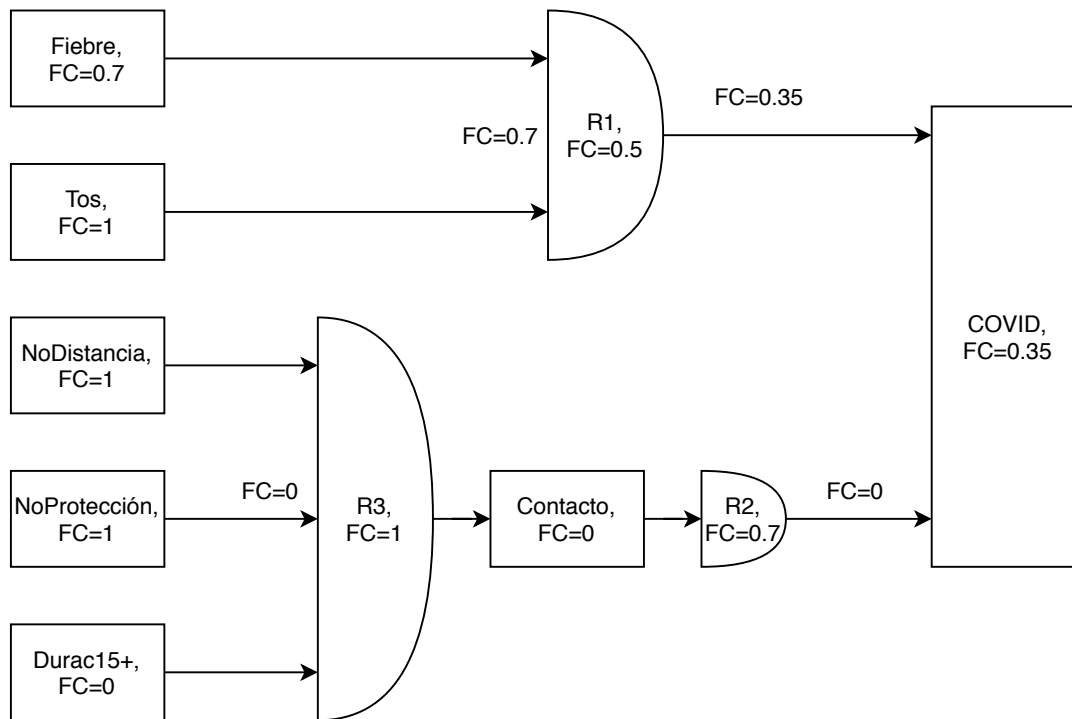
3.4.4. BH

Hechos:

- FC(Fiebre) = 0.7
- FC(Tos) = 1
- FC(NoDistancia) = 1
- FC(NoProtección) = 1

Meta: COVID

3.4.5. Red de inferencia



3.4.6. Resultado/Conclusión

Hay una ligera evidencia a favor (0,35) de que el paciente tiene COVID-19.

3.5. Prueba 5

3.5.1. Enunciado

Estamos en la recta final del cuatrimestre antes de los exámenes y tenemos que entregar el trabajo de SSII, el proyecto de TDS, la práctica de AOC, la tarea de Geometría y hacer el examen de Probabilidad.

La certeza de haber acabado satisfactoriamente cada uno de los trabajos es de un 0,99 para TDS, un 0,6 para AOC, un 0,8 para SSII y un 0,65 para Geometría. Además, creemos no estar motivados (−0,5) y se espera que haya más de dos días malos esta semana con una evidencia del 0,65.

Además, sabemos que los resultados del periodo pre-exámenes se ven afectados por los siguientes factores (entre otros):

1. Si aprobamos Probabilidad nos la quitamos por parciales, obteniendo con bastante certeza (0,75) un final del periodo pre-exámenes satisfactorio.
2. Si entregamos todos los trabajos, hay cierta evidencia (0,4) de terminar el periodo de pre-exámenes satisfecho.
3. Si tenemos terminada la tarea de geometría, con bastante certeza hemos de creer que hayamos terminado con SSII (0,8).
4. Si estamos motivados, se tiene una evidencia de 0,7 a favor de aprobar Probabilidad.
5. Si tenemos más de 2 días malos, tenemos una ligera sospecha (0,3) de terminar suspendiendo Probabilidad.

¿Estaremos satisfechos al final del periodo pre-exámenes?

3.5.2. Formalización

- Signatura:

$$\Sigma = \{\text{Prob}, \text{SSII}, \text{TDS}, \text{AOC}, \text{Geometría}, \text{Motivado}, \text{DíasMalos2+}, \text{Satisfecho}\},$$

donde la representación de cada símbolo está dada por:

Prob	“Aprobamos el parcial de Probabilidad”
SSII	“Terminamos satisfactoriamente la práctica de SSII”
TDS	“Terminamos satisfactoriamente el proyecto de TDS”
AOC	“Terminamos satisfactoriamente la práctica de AOC”
Geometría	“Terminamos satisfactoriamente la tarea de Geometría”
Motivado	“Nos encontramos motivados”
DíasMalos2+	“Tenemos más de 2 días malos”
Satisfecho	“Estamos satisfechos con el fin del periodo pre-exámenes”

3.5.3. BC

Reglas:

- R1: Si Prob Entonces Satisfecho, FC=0.75
- R2: Si SSII y TDS y AOC y Geometría Entonces Satisfecho, FC=0.4
- R3: Si Motivado Entonces Prob, FC=0.7
- R4: Si DíasMalos2+ Entonces Prob, FC=-0.3

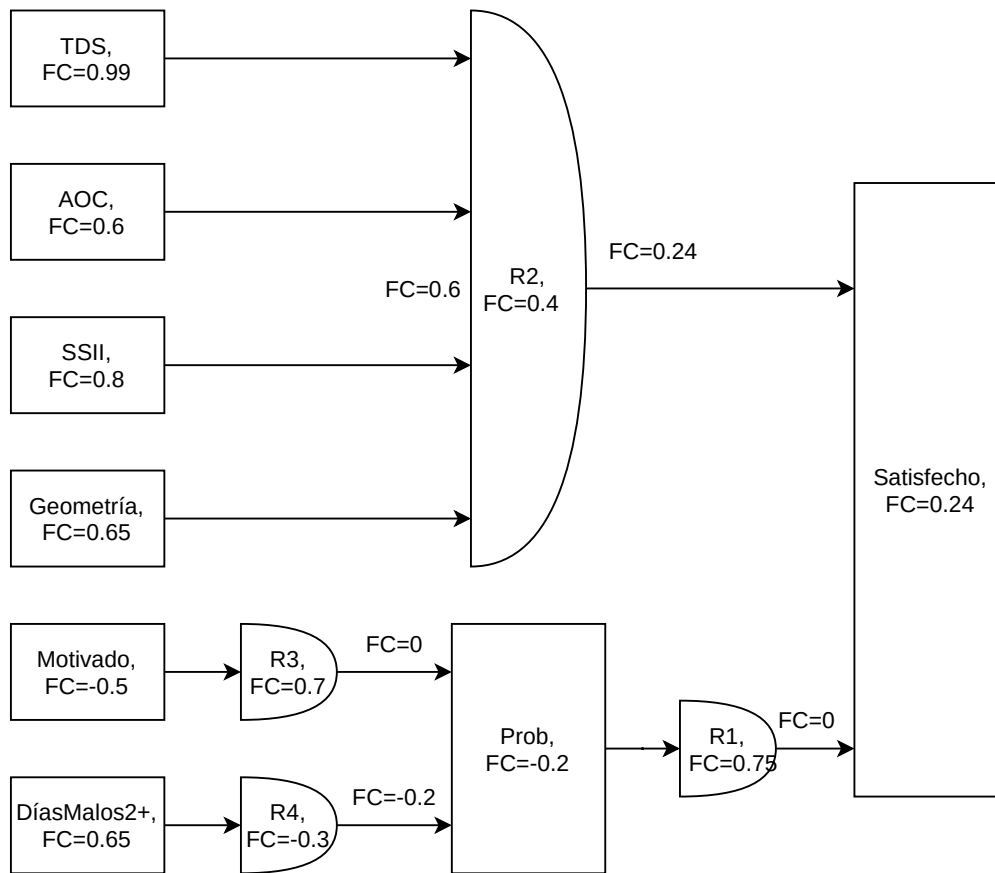
3.5.4. BH

Hechos:

- $FC(\text{TDS}) = 0.99$
- $FC(\text{AOC}) = 0.6$
- $FC(\text{SSII}) = 0.8$
- $FC(\text{Geometría}) = 0.65$
- $FC(\text{Motivado}) = -0.5$
- $FC(\text{DíasMalos2+}) = 0.65$

Meta: Satisfecho

3.5.5. Red de inferencia



3.5.6. Resultado/Conclusión

Creemos con un pequeño grado de creencia (0,24) que podemos empezar el periodo de exámenes estando satisfechos con lo que llevamos de cuatrimestre hasta ahora.