

# Técnicas, Entornos y Aplicaciones de Inteligencia Artificial

## Práctica 5: CSPs

Ramon Ruiz Dolz  
4CO21-2017

## 1. Introducción

En esta última práctica el objetivo es entrar en contacto con los CSPs, los problemas de satisfacción de restricciones. Para ello, la herramienta que utilizaremos es Con'flex, un software desarrollado en francia que nos facilitará todo el trabajo gracias a su sencillez en la sintaxis.

La práctica está dividida en tres partes, una primera parte que consistirá en evaluar el problema de las  $n$  reinas analizando el número de instanciaciones del problema, la segunda parte consistirá en modelar dos problemas en con'flex y finalmente la última parte consistirá en la contestación a una serie de preguntas y a la generación de modelos de CSP.

## 2. Parte 1: Evaluación de las $n$ Reinas

Como se ha introducido en la sección anterior, esta primera parte consiste en la evaluación del problema de las  $n$  reinas. Para ello, evaluaremos el número de instanciaciones del problema por parte de con'flex para distintos tipos de búsqueda (backtracking, forward checking y read full looking ahead), para distintas heurísticas estáticas o dinámicas y para distintos tamaños de  $n$  del problema.

En esta primera tabla vamos a evaluar el problema para la obtención de una única solución.

1 solucion	n=4	n=5	n=6	n=7	n=8	n=9
BT	26	15	171	42	876	333
FC	7	5	17	8	57	20
RFLA	5	5	18	7	40	17

La segunda tabla consiste en el análisis del problema para la obtención de todas las posibles soluciones.

todas soluciones	n=4	n=5	n=6	n=7	n=8	n=9
BT	60	220	894	3584	15720	72378
FC	14	49	86	357	1192	4741
RFLA	10	49	74	297	950	3809

El tercer análisis consiste en el análisis de los resultados en función de heurísticas variables para la obtención de una única solución. El tipo de búsqueda que se ha elegido es el de real full look ahead.

1 solucion (rfla)	n=4	n=5	n=6	n=7	n=8	n=9
Static: smallest_domain	5	5	18	7	40	17
Static: smallest_domain by_degree	5	5	18	7	40	17
Dynamic: smallest_domain	5	5	18	7	41	14
Dynamic: smallest_domain by_degree	5	5	17	11	19	19

Finalmente, el último análisis consistirá en la obtención de una solución en función de distintas heurísticas valores. Al igual que en la experimentación anterior, la búsqueda elegida es la búsqueda por real full look ahead.

1 solucion (rfla)	n=4	n=5	n=6	n=7	n=8	n=9
bottom_first	5	5	18	7	40	17
top_first	5	5	18	7	40	17
mid_first	4	5	13	9	9	10

Una vez lanzados todos los experimentos, podemos observar que la búsqueda que menos instanciaciones necesita, en general, para encontrar la solución es Real Full Look Ahead (rfla) la que he utilizado para seguir con los experimentos. Como se puede observar en el tercer y cuarto análisis, las heurísticas dinámicas por smallest domain by degree y mid first, son con las que obtenemos menor número de instanciaciones del problema.

### 3. Parte 2: Modelado de problemas de satisfacción de restricciones

En esta segunda parte he modelado dos problemas. El primero de ellos ha sido el de policías. Este problema consiste en que, la policía ha detenido a 5 sospechosos A,B,C,D y E; hay 5 testigos y cada uno hace dos declaraciones, una verdadera y la otra falsa. El modelado de este problema lo he realizado mediante el uso de /coc y /doc para poder utilizar operadores lógicos, ya que cada testigo dice dos cosas de las cuales solo una es cierta. Los parámetros para con'flex han sido rfla y all solutions, y he obtenido la siguiente output:

```

Lecture du fichier... "temp.csp"
... OK

##### Filtering "superficiel" (AC pour les variables entieres) ...

##### Fin filtering du CSP #####

##### Resolution par Real Full Look Ahead #####

- Recherche de toutes les solutions satisfaisantes au moins à 0.090
- Tri préalable des variables, du plus petit domaine au plus grand.
- Ordre d'examen des valeurs numériques : de la plus petite à la plus grande.
-----

SOLUTION No 1
  A = 1   B = 3   C = 5   D = 2   E = 4   sat = 1.000 .
(trouvee apres 12 instanciations et 83 tests de contraintes)

##### Fin du Real Full Look Ahead #####
  Nombre de solution(s) trouvee(s) : 1
  Nb d'instanciations : 83, Nb de tests de contraintes : 580

durée de la résolution : 0'00''01

```

Por lo tanto, sabemos que la única solución hallada para el problema es que el sospechoso 1 es Adán, el sospechoso 2 es David, el 3 es Baltasar, el 4 Enrique y el 5 Carlos. También se puede observar que el número de instancias necesarias ha sido de 12.

El segundo problema modelado ha sido el del criptograma. Este problema plantea un sencillo problema criptográfico donde tenemos 4 dígitos representados con los símbolos A, B, C, D que no sabemos su valor entre 0 y 9. Sin embargo sabemos que son consecutivos en orden creciente, es decir A como máximo puede valer 6 y D como mínimo 3. Por otra parte también sabemos que respetan la siguiente suma:

$$\begin{array}{r}
 \begin{array}{ccccccc}
 & A & B & C & D & & \\
 & D & C & B & A & & \\
 + & * & * & * & * & & \\
 \hline
 1 & 2 & 3 & 0 & 0 & & 
 \end{array}
 \end{array}$$

donde \*\*\*\* son esos dígitos en un orden desconocido. Para modelar esto se usan otras 4 variables auxiliares N1, N2, N3 y N4 que toman los valores 1, 10, 100 y 1000, es decir la posición del símbolo en la ecuación. El resultado obtenido mediante la misma configuración que en el anterior problema es el siguiente:

```

Lecture du fichier... "temp.csp"
... OK

##### Filtering "superficiel" (AC pour les variables entieres) ...

##### Fin filtering du CSP #####

##### Resolution par Real Full Look Ahead #####

- Recherche de toutes les solutions satisfaisantes au moins à 0.090
- Tri préalable des variables, du plus petit domaine au plus grand.
- Ordre d'examen des valeurs numériques : de la plus petite à la plus grande.

```

```

-----
SOLUTION No 1
  A = 2   B = 3   C = 4   D = 5   N1 = 10   N2 = 1   N3 = 1000   N4 = 100 sat =
1.000 .
  (trouvee apres 12 instanciatiions et 83 tests de contraintes)

#####      Fin du Real Full Look Ahead #####
  Nombre de solution(s) trouvee(s) : 1
  Nb d'instanciations : 83, Nb de tests de contraintes : 580

durée de la résolution : 0'00''01

```

La solución al lanzar la ejecución es la mostrada arriba,  $2345 + 5432 + 4523 = 12300$ . Finalmente he realizado una última modificación a este problema. Se sabe que no tienen el valor 0 y además, respetan la siguiente restricción:  $1AB * 20 = CD * 58$ . Para este nuevo problema de criptogramas como podemos observar, no se puede hallar ninguna solución.

```

Lecture du fichier... ".\criptogramaB.csp"
... OK

##### Filtering "superficiel" (AC pour les variables entieres) ...

##### Fin filtering du CSP #####
### Un domaine s'est vid   au filtrage : pas de recherche de solution.

durée de la résolution : 0'00''01

```

## 4. Parte 3: Extensiones CSP

En esta última parte se nos plantea un problema con restricciones relacionado en la fabricación de hamburguesas. Para ello se disponen de dos productos básicos, las hamburguesas y los panes y de los acompañamientos o 'toppings', lonchas de queso, de bacon y rodajas de cebolla. Se dispone de 5 hamburguesas, 5 panes y 3 elementos de cada 'topping', además la única característica que tiene que tener cada modelo de hamburguesa es que al menos debe haber un 'topping' en cada una. A partir de esta información se ha modelado burger.csp, para obtener todas las soluciones posibles a este problema hallando así todos los modelos de hamburguesa posibles. Sean P el pan, H las hamburguesas, Q el queso, B el bacon y C la cebolla, la salida es la siguiente:

```

Lecture du fichier... "temp.csp"
... OK

##### Filtering "superficiel" (AC pour les variables entieres) ...

##### Fin filtering du CSP #####

##### Resolution par Real Full Look Ahead #####

- Recherche de toutes les solutions satisfaisantes au moins    0.090
- Tri préalable des variables, du plus petit domaine au plus grand.
- Ordre d'examen des valeurs numériques : de la plus petite    la plus grande.
-----

```

```

SOLUTION No 1
  P = 2   H = 1   Q = 0   B = 0   C = 1   COSTE = 1.800   sat = 1.000 .
  (trouvee apres 7 instanciatiions et 44 tests de contraintes)

SOLUTION No 2
  P = 2   H = 1   Q = 0   B = 0   C = 2   COSTE = 2.000   sat = 1.000 .
  (trouvee apres 9 instanciatiions et 66 tests de contraintes)

SOLUTION No 3
  P = 2   H = 1   Q = 0   B = 0   C = 3   COSTE = 2.200   sat = 1.000 .
  (trouvee apres 11 instanciatiions et 88 tests de contraintes)

SOLUTION No 4
  P = 2   H = 1   Q = 0   B = 1   C = 0   COSTE = 2.350   sat = 1.000 .
  (trouvee apres 14 instanciatiions et 110 tests de contraintes)

SOLUTION No 5
  P = 2   H = 1   Q = 0   B = 1   C = 1   COSTE = 2.550   sat = 1.000 .
  (trouvee apres 16 instanciatiions et 132 tests de contraintes)

... ..

SOLUTION No 250
  P = 5   H = 4   Q = 3   B = 3   C = 1   COSTE = 9.150   sat = 1.000 .
  (trouvee apres 592 instanciatiions et 5588 tests de contraintes)

SOLUTION No 251
  P = 5   H = 4   Q = 3   B = 3   C = 2   COSTE = 9.350   sat = 1.000 .
  (trouvee apres 594 instanciatiions et 5610 tests de contraintes)

SOLUTION No 252
  P = 5   H = 4   Q = 3   B = 3   C = 3   COSTE = 9.550   sat = 1.000 .
  (trouvee apres 596 instanciatiions et 5632 tests de contraintes)

#####      Fin du Real Full Look Ahead #####
  Nombre de solution(s) trouvee(s) : 252
  Nb d'instanciations : 596, Nb de tests de contraintes : 5632

durée de la résolution : 0'00''09

```

- **Ejercicio 1:** ¿Cuántos modelos de hamburguesas podemos fabricar? ¿Cuál sería el mejor modelo de hamburguesa entre todos ellos?

Obtenemos 252 modelos de hamburguesas con este modelo definido. Como se puede observar todos con satisfacibilidad 1, el mejor modelo de hamburguesa, asumiendo el coste menor sería el primero que aparece en el output con un coste de 1.8 euros.

- **Pregunta 1.1:** ¿Qué modelo de CSP hemos creado?, ¿Ante qué desventaja nos encontramos en este modelo a la hora de encontrar el mejor tipo de hamburguesa?

Para este primer ejercicio se ha realizado un modelado clásico de CSP con restricciones disyuntivas. Para encontrar el mejor tipo de hamburguesa, con estas restricciones no quedaría muy claro, puesto que lo que obtenemos es todos los tipos de hamburguesas que podemos construir, no estamos minimizando su coste ni ninguna otra variable.

- **Pregunta 1.2:** Si quisiéramos expresar la preferencia “Que haya más de una loncha de queso es preferible”, ¿qué modelo de CSP deberíamos desarrollar?

Para este problema con preferencias, lo mejor sería desarrollar un CSP Flexible con pesos para darle mayor relevancia a la posibilidad de que haya más de una loncha de queso.

## - **Ejercicio 2:**

- **Pregunta 2.1:** ¿Qué modelo de CSP hemos desarrollado?

Hemos desarrollado un CSP flexible con grados de satisfacibilidad, Fuzzy CSP.

- **Pregunta 2.2:** ¿Qué parámetro debemos variar para mostrar por pantalla SÓLO aquellos modelos de hamburguesas que son los mejores? ¿A cuánto debemos fijar tal parámetro?

Los parámetros que variando permiten obtener distintas soluciones son \fuzzy\_cut\_step y \alpha. El primero consiste en la precisión en la representación de las soluciones y el segundo consiste el grado mínimo de satisfacibilidad para suponer que una restricción se satisface, es decir que sea una solución. Realmente, con definir una alpha inferior al mejor resultado y superior a todos los demas podemos obtener únicamente la mejor solución por pantalla. En este caso, al poner el valor de alpha a 0.7 se obtiene la mejor solución, un empate mostrados a continuación:

```
Lecture du fichier... "temp.csp"
... OK

##### Filtering "superficiel" (AC pour les variables entieres) ...

##### Fin filtering du CSP #####

##### Resolution par Real Full Look Ahead #####

- Recherche de toutes les solutions satisfaisantes au moins à
0.690
- Tri préalable des variables, du plus petit domaine au plus
grand.
- Ordre d'examen des valeurs numériques : de la plus petite à la
plus grande.
-----

SOLUTION No 1
  Q = 3   B = 3   C = 3   H = 3   P = 4   COSTE = 8.300   sat =
0.790 .
(trouvee apres 6 instanciations et 27 tests de contraintes)

SOLUTION No 2
```

```

    Q = 3    B = 3    C = 3    H = 4    P = 5    COSTE = 9.550    sat =
0.790 .
(trouvee apres 9 instanciatiions et 30 tests de contraintes)

#####      Fin du Real Full Look Ahead #####
Nombre de solution(s) trouvee(s) : 2
Nb d'instanciations : 9, Nb de tests de contraintes : 30

durée de la résolution : 0'00''00

```

### - **Ejercicio 3:**

- **A:** Se pretende incluir una preferencia que combine el queso y las hamburguesas. La preferencia consiste en, asegurando que haya una loncha de queso por cada hamburguesa, que sean el máximo posible. Además, TODOS los modelos deben contener al menos una loncha de queso. Las preferencias son: si hay una hamburguesa y una loncha de queso preferencia 4; si hay 2 hamburguesas y 2 lonchas de queso, la preferencia es 6; y si hay 3 hamburguesas y 3 lonchas de queso la preferencia es 8. ¿Cuántas soluciones hay? ¿Cuáles son los mejores modelos?

Añadiendo la nueva preferencia a las preferencias explicadas anteriormente obtenemos la siguiente salida:

```

Lecture du fichier... "temp.csp"
... OK

##### Filtering "superficiel" (AC pour les variables entieres) ...

##### Fin filtering du CSP #####

##### Resolution par Real Full Look Ahead #####

- Recherche de toutes les solutions satisfaisantes au moins à 0.090
- Tri préalable des variables, du plus petit domaine au plus grand.
- Ordre d'examen des valeurs numériques : de la plus petite à la plus
grande.
-----

SOLUTION No 1
  P = 2    H = 1    Q = 1    B = 0    C = 0    COSTE = 2.050    sat = 0.090 .
(trouvee apres 6 instanciatiions et 29 tests de contraintes)

SOLUTION No 2
  P = 2    H = 1    Q = 1    B = 0    C = 1    COSTE = 2.250    sat = 0.090 .
(trouvee apres 8 instanciatiions et 52 tests de contraintes)

SOLUTION No 3
  P = 2    H = 1    Q = 1    B = 0    C = 2    COSTE = 2.450    sat = 0.090 .
(trouvee apres 10 instanciatiions et 75 tests de contraintes)

SOLUTION No 4
  P = 2    H = 1    Q = 1    B = 0    C = 3    COSTE = 2.650    sat = 0.090 .
(trouvee apres 12 instanciatiions et 98 tests de contraintes)

... ..

```



```

SOLUTION No 46
  P = 4   H = 3   Q = 3   B = 3   C = 1   COSTE = 7.900   sat = 0.190 .
  (trouvee apres 113 instanciatiions et 1085 tests de contraintes)

SOLUTION No 47
  P = 4   H = 3   Q = 3   B = 3   C = 2   COSTE = 8.100   sat = 0.390 .
  (trouvee apres 115 instanciatiions et 1108 tests de contraintes)

SOLUTION No 48
  P = 4   H = 3   Q = 3   B = 3   C = 3   COSTE = 8.300   sat = 0.790 .
  (trouvee apres 117 instanciatiions et 1131 tests de contraintes)

#####      Fin du Real Full Look Ahead #####
  Nombre de solution(s) trouvee(s) : 48
  Nb d'instanciations : 117, Nb de tests de contraintes : 1131

durée de la résolution : 0'00''06

```

Como podemos observar, hay 48 soluciones. Volviendo a marcar alpha como 0.7 el mejor modelo es el siguiente:

```

Lecture du fichier... "temp.csp"
... OK

##### Filtering "superficiel" (AC pour les variables entieres) ...

##### Fin filtering du CSP #####

#####      Resolution par Real Full Look Ahead #####

  - Recherche de toutes les solutions satisfaisantes au moins à 0.690
  - Tri préalable des variables, du plus petit domaine au plus grand.
  - Ordre d'examen des valeurs numériques : de la plus petite à la plus
grande.
-----

SOLUTION No 1
  P = 4   H = 3   Q = 3   B = 3   C = 3   COSTE = 8.300   sat = 0.790 .
  (trouvee apres 6 instanciatiions et 29 tests de contraintes)

#####      Fin du Real Full Look Ahead #####
  Nombre de solution(s) trouvee(s) : 1
  Nb d'instanciations : 6, Nb de tests de contraintes : 29

durée de la résolution : 0'00''00

```

Una hamburguesa de coste 8'3 consistente de 4 panes, 3 hamburguesas y 3 lonchas de queso, bacon y cebolla.

- **B:** Además de la preferencia A, incluir dos nuevas preferencias. Tendrán preferencia 1 (muy baja, pues queremos expresar que no nos gusta) las hamburguesas que: (i) no tengan ni una ni ninguna rodajas de cebolla, o (ii) no tengan ni una ni ninguna loncha de beicon. ¿Cuántas soluciones hay? ¿Cuáles son los mejores modelos?

Añadiendo estas restricciones obtenemos la misma salida que en el apartado anterior. Como podemos observar, hay 48 soluciones. El mejor resultado es:

```
Lecture du fichier... "temp.csp"
... OK

##### Filtering "superficiel" (AC pour les variables entieres) ...

##### Fin filtering du CSP #####

##### Resolution par Real Full Look Ahead #####

- Recherche de toutes les solutions satisfaisantes au moins à
0.690
- Tri préalable des variables, du plus petit domaine au plus
grand.
- Ordre d'examen des valeurs numériques : de la plus petite à la
plus grande.
-----

SOLUTION No 1
  P = 4   H = 3   Q = 3   B = 3   C = 3   COSTE = 8.300   sat =
0.790 .
  (trouvee apres 6 instanciations et 31 tests de contraintes)

##### Fin du Real Full Look Ahead #####
  Nombre de solution(s) trouvee(s) : 1
  Nb d'instanciations : 6, Nb de tests de contraintes : 31

durée de la résolution : 0'00''00
```

- **Pregunta 3.3:** ¿Qué modelo de CSP hemos desarrollado? ¿Qué comando me resulta útil para no tener que escribir nada en concreto de que ocurre si hay dos o tres lonchas de queso/beicon?

Se ha desarrollado un CSP flexible, con pesos para especificar las preferencias del jefe. El comando \allbut es muy util en esta situación, teniendo únicamente que especificar las situaciones de 0 y 1 lonchas/rodajas.

- **Ejercicio 4:**

- **A:** En este punto, en el que hemos encontrado el/los modelo/s de hamburguesa ÓPTIMO/S acorde a las preferencias A y B, se lo comentamos a nuestro jefe. Tras felicitarnos por el trabajo realizado, nos dice que quiere que el valor del modelo de hamburguesa sea muy barato (2 euros o menos) para poder venderlo por 3 euros y tener al menos un beneficio de 1 euro por hamburguesa vendida. ¿Cuántos modelos de hamburguesas cuestan 2 euros o menos? ¿Ante qué tipo de CSP (clasificación respecto a la satisfacibilidad de las soluciones) nos encontramos?

Tras añadir la nueva restricción, obtenemos la salida siguiente:

```

Lecture du fichier... "temp.csp"
... OK

##### Filtering "superficiel" (AC pour les variables entieres) ...

##### Fin filtering du CSP #####
### Un domaine s'est vidé au filtrage : pas de recherche de solution.

durée de la résolution : 0'00''00

```

Como se puede observar, no se obtiene ninguna solución debido al gran nivel de restricción definido. La nueva restricción añadida es una restricción de CSP clásico pero arrastrando las preferencias anteriores también tenemos propiedades difusas.

- **B:** Hablamos con nuestro jefe para decirle que lo que pide puede ser difícil de conseguir. Así que nos dice que podemos subir el precio un poco, pero no mucho. Además, se tendrán en cuenta las preferencias elegidas, de manera que nos quedaremos como modelo final de hamburguesa con aquella que minimice el coste y maximice las preferencias. Preferencias del jefe: entre 2 y 2.5 euros preferencia 9, entre 2.5 y 3 euros preferencia 8, entre 3 y 3.5 preferencia 5 y más de 3.5 euros no permite que cueste. ¿Cuál/cuáles son esos modelos si el jefe nos expresa estas preferencias respecto al precio total de la hamburguesa? ¿Cuántos de ellos están en el intervalo de preferencias más barato?

```

Lecture du fichier... "temp.csp"
... OK

##### Filtering "superficiel" (AC pour les variables entieres) ...

##### Fin filtering du CSP #####

##### Resolution par Real Full Look Ahead #####

- Recherche de toutes les solutions satisfaisantes au moins à 0.090
- Tri préalable des variables, du plus petit domaine au plus grand.
- Ordre d'examen des valeurs numériques : de la plus petite à la plus grande.
-----

SOLUTION No 1
  P = 2   H = 1   Q = 1   B = 0   C = 0   COSTE = 2.050   sat = 0.090 .
(trouvee apres 6 instanciations et 33 tests de contraintes)

SOLUTION No 2
  P = 2   H = 1   Q = 1   B = 0   C = 1   COSTE = 2.250   sat = 0.090 .
(trouvee apres 8 instanciations et 58 tests de contraintes)

SOLUTION No 3
  P = 2   H = 1   Q = 1   B = 0   C = 2   COSTE = 2.450   sat = 0.090 .
(trouvee apres 10 instanciations et 83 tests de contraintes)

SOLUTION No 4
  P = 2   H = 1   Q = 1   B = 0   C = 3   COSTE = 2.650   sat = 0.090 .
(trouvee apres 12 instanciations et 108 tests de contraintes)

SOLUTION No 5

```

```
P = 2   H = 1   Q = 1   B = 1   C = 0   COSTE = 2.800   sat = 0.090 .
(trouvee apres 15 instanciations et 135 tests de contraintes)

SOLUTION No 6
P = 2   H = 1   Q = 1   B = 1   C = 1   COSTE = 3.000   sat = 0.090 .
(trouvee apres 17 instanciations et 160 tests de contraintes)

SOLUTION No 7
P = 2   H = 1   Q = 1   B = 1   C = 2   COSTE = 3.200   sat = 0.090 .
(trouvee apres 19 instanciations et 185 tests de contraintes)

SOLUTION No 8
P = 2   H = 1   Q = 1   B = 1   C = 3   COSTE = 3.400   sat = 0.090 .
(trouvee apres 21 instanciations et 210 tests de contraintes)

#####   Fin du Real Full Look Ahead #####
Nombre de solution(s) trouvee(s) : 8
Nb d'instanciations : 21, Nb de tests de contraintes : 210

durée de la résolution : 0'00''01
```

La salida de con'flex nos muestra las 8 posibles combinaciones que respetan las restricciones y preferencias planteadas por el jefe. Las 2 primeras nos permiten obtener el máximo beneficio costando únicamente 2'05 euros de producir estando muy cerca de las exigencias del apartado anterior.

## 5. Conclusión

En esta larga práctica he trabajado profundamente con los CSPs mediante la herramienta con'flex. Esto me ha permitido interiorizar la teoría explicada en clase y entender mucho mejor este tipo de problemas desde modelos clásicos hasta modelos flexibles.