

## Un enfoque flexible para la formación de equipos en base a técnicas SAT

Ignacio Gatti, Silvia Schiaffino y J. Andrés Díaz Pace

ISISTAN (CONICET – UNCPBA), Campus Universitario, Paraje Arroyo Seco,  
Tandil, 7000, Argentina  
{silvia.schiaffino, andres.diazpace}@isistan.unicen.edu.ar  
nacho.gatti@gmail.com

**Resumen.** La formación de equipos es clave a la hora de llevar adelante un proyecto, porque las características de cada uno de los miembros influyen en el desempeño grupal. En este artículo, se propone un enfoque automatizado que modela la formación de equipos como un problema de satisfacción de restricciones ponderadas y se utiliza un motor de optimización pseudo-booleano para su resolución. El asistente propuesto soporta cuatro características de los usuarios: estilos psicológicos, roles de equipo, redes sociales y competencias técnicas. Un aspecto central del enfoque radica en la flexibilidad que ofrece al “seleccionador” para definir sus propios modelos de equipo. Además, se muestra una serie de casos de estudio donde se analiza la calidad de las soluciones para distintas instancias del problema.

### 1 Introducción

La formación de equipos es una tarea que se presenta siempre problemática y compleja. A la hora de comenzar un proyecto, todo gerente -o quien juegue el rol de “seleccionador”- debe decidir y escoger un conjunto de personas, de manera tal que ese grupo asegure un andar exitoso hacia la meta. Sin embargo, la elección no siempre es satisfactoria, con lo cual mientras muchos equipos alcanzan los objetivos propuestos, tantos otros fracasan.

Según varios autores (por ej., Belbin [1, 2]; Mumma [3, 4]; Myers [5, 6]; Mitchell, Nicholas y Boyle [7]; Pieterse, Kourie y Sonnekus [10]; Winter [11]), el problema principal radica en la noción que se tiene de equipo y en los criterios adoptados para llevar a cabo la selección. El no tener una definición clara acerca de lo que es un equipo trae aparejado que los miembros se elijan casi al azar, utilizando criterios dudosos e incluso, algunas veces, contradictorios.

Para Belbin [1, 2], un equipo es “una congregación de personas donde cada uno de ellos desempeña un rol que es comprendido por el resto de los miembros. Éstos negocian entre sí el reparto de roles y desempeñan de manera más eficaz aquellos que les son más naturales”. A partir de esta definición, se puede encontrar un abanico de estudios y teorías que buscan establecer leyes y principios acerca de qué características debe tener un conjunto de personas para

poder ser un equipo. A grandes rasgos, estos aspectos se pueden dividir en dos categorías: psicológicas-sociales y técnicas. Mientras que las primeras están relacionadas con el perfil psicológico de cada integrante y cómo se desenvuelve éste dentro de un grupo; las segundas, se vinculan con las capacidades técnicas propias de la tarea concreta a desarrollar.

En líneas generales, se puede describir el proceso de formación como la selección de un subconjunto de personas con perfiles específicos. Se puede observar que dicha tarea encierra una doble dificultad: la elección en sí misma y la ponderación de todos los potenciales equipos. Particularmente, desde el área de Inteligencia Artificial se han realizado diversas investigaciones que proponen técnicas para la automatización de dicho proceso. Así, el trabajo propuesto en [9] aborda esta problemática como un problema de satisfacción de restricciones

En este contexto, el presente trabajo propone un asistente para la formación de equipos de trabajo utilizando un enfoque de optimización de restricciones pseudo-booleano. Se considera que un equipo está atravesado por cuatro características principales: el perfil psicológico de sus miembros, según la teoría de Myers-Briggs [6]; los roles de equipo que se deben cubrir, según la concepción de Mumma [3, 4]; las redes sociales, siguiendo las ideas de Anderson [8]; y las competencias técnicas que exige el proyecto a desarrollar, entendiendo que el equipo se conforma para la resolución de una situación particular y concreta. Sin embargo, a diferencia de [9], en este enfoque se busca romper la idea de un único equipo ideal, permitiendo que el “seleccionador” pueda definir y experimentar con distintos modelos, que luego son resueltos por el optimizador.

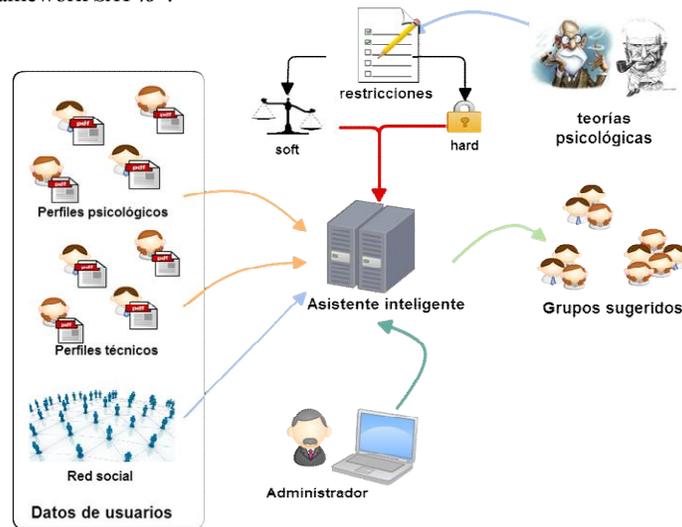
El resto del trabajo se organiza de la siguiente manera. La sección 2 se aboca a la descripción del trabajo propuesto para la problemática de la formación de grupos. La sección 3 realiza un recorrido por las teorías que sustentan la noción de equipo utilizadas en nuestro enfoque. La sección 4 plantea cómo modelar la problemática con un enfoque de optimización de restricciones pseudo-booleana. La sección 5 muestra y discute los resultados experimentales obtenidos. La sección 6 presenta otros trabajos que han abordado temáticas similares. Por último, la sección 7 presenta las conclusiones y trabajos futuros.

## 2 Enfoque propuesto

En este trabajo se presenta un asistente automatizado, que utiliza un enfoque de optimización de modelos pseudo-booleanos para generar potenciales equipos en base a las preferencias del “seleccionador”. En líneas generales, y diferenciándose del trabajo anterior [9], se busca que el asistente ofrezca la libertad al “seleccionador” para que éste pueda proponer sus propios modelos; por ejemplo, podría considerar que para un grupo fuese importante y necesario que todos los roles (propuestos por Mumma) estuviesen cubiertos, y a su vez, que sería deseable pero no determinante que cada rol de cada integrante se correspondiera con sus preferencias personales y, finalmente, que sería bueno que los integrantes tengan temas de interés común; mientras que para otro grupo

podría establecer como excluyente que estuviesen cubiertos todos los roles y que todos los integrantes del equipo tuviesen un vínculo.

Tal como muestra la Figura 1, para poder generar potenciales equipos que satisfagan los requerimientos del administrador (o “seleccionador”), es necesario, por un lado, que las teorías psicológicas y sociales -que dan soportes a la formación de equipos- sean modeladas como restricciones según el enfoque pseudo-booleano; por el otro, que los perfiles de los usuarios estén cargados en el sistema. De esta manera, el asistente toma el modelo de equipo definido, y lo mapea a un sistema de desigualdades pseudo-booleana que es resuelto utilizando el framework *SAT4J*<sup>1</sup>.



*Fig 1. Visión general del asistente inteligente*

Desde el punto de vista teórico, se escogieron un conjunto de referentes que fueron las bases para definir conceptualmente un equipo y las características que lo distingue de un grupo. Siguiendo las ideas propuestas principalmente en el trabajo [9], se tomaron los estudios realizados por Myers-Briggs, donde muestran que en un equipo debe haber una distribución balanceada de distintos perfiles psicológicos. Asimismo, Mumma propone que en un equipo, todos los roles deben ser cubiertos, al menos, por una persona; y sugiere que las preferencias personales de la persona debe coincidir con el rol a desempeñar. También se tomaron los estudios de Anderson, que prioriza la cuestión social en los equipos.

<sup>1</sup><http://www.sat4j.org/>

### 3 Teorías Psicológicas-sociales

#### 3.1 Roles de Equipo

Según Belbin, un rol se define como “nuestra particular tendencia a comportarnos, contribuir y relacionarnos socialmente”; en otras palabras, un rol se refiere a la forma en que los miembros de un equipo interactúan con otros para facilitar el progreso grupal. Mumma [3, 4], siguiendo las ideas del anterior, desarrolló su teoría de roles, estableciendo que existen ocho roles significativos dentro de un equipo. Asimismo, basándose en los estudios realizados por Bales y Strodtbeck en 1953, observó que, dentro de las cuatro fases en la que ellos dividen un proyecto, en cada una de ellas hay roles que cobran mayor importancia respecto de los otros. Con lo cual, para que un proyecto alcance sus objetivos, es necesario que en cada fase, los roles predominantes sean cubiertos.

A continuación se describen las cuatro fases y los roles preponderante de cada una.

➤ **Fase 1 – Iniciación:** ésta ocurre cuando un proyecto es definido. Éste debe estar claramente segmentado, detallándose el conjunto de entregables y recursos asignados a cada estado.

○ **Rol 1 – Líder:** es quien inspira y motiva a los miembros del equipo. Además, es quien siempre tiene presente la misión y la visión del proyecto.

○ **Rol 2 – Moderador:** es quien negocia, capta las ideas y logra que cada miembro se comprometa con la tarea a desarrollar.

➤ **Fase 2 – Generación de ideas:** en esta fase se proponen diversas alternativas para realizar la tarea.

○ **Rol 3 – Creador:** es quien propone ideas originales y poco ortodoxas, así como alternativas, para llevar a cabo el proyecto.

○ **Rol 4 – Innovador:** es quien generalmente localiza recursos fuera del equipo y luego, encuentra oportunidades para usarlos dentro del trabajo del equipo.

➤ **Fase 3 – Elaboración:** es la fase donde se definen posibles cursos de acción para implementar las ideas propuestas en la etapa anterior, de manera tal de poder compararlos posteriormente.

○ **Rol 5 – Manager:** es quien desarrolla un plan para implementar la idea. Además, mantiene a los miembros del equipo trabajando juntos, cooperativamente y productivamente.

○ **Rol 6 – Organizador:** es quien estima el tiempo, dinero y recursos necesarios para llevar adelante el plan.

➤ **Fase 4 – Finalización:** en esta fase se ponen en consideración todos los planes elaborados, se evalúan y, finalmente, uno es elegido para llevarlo a la práctica.

○ **Rol 7 – Evaluador:** es quien analiza las situaciones, evalúa que ideas funcionarían y mide los resultados. Observa los planes por segmentos para

asegurarse que cubren los requerimientos de situaciones reales.

- o **Rol 8 – Finalizador:** es quien sigue adelante con los planes y se ocupa de los detalles en la realización de las tareas. Es quien mantiene a los miembros en el camino correcto, de forma que se cumplan los plazos.

### 3.2 Perfiles Psicológicos

Siguiendo las ideas de Carl Jung propuesta en su teoría de *Tipos Psicológicos* en 1921, donde establece un modelo que ayuda a clasificar las personalidades, Katherine Briggs y su hija Isabel Briggs Myers desarrollaron una metodología que permite obtener indicios de las personalidades.

Para ellas, el análisis de las personalidades se puede hacer en cuatro dimensiones: la fuente de motivación (actitud), el modo de percibir la información (función psicológica), el modo de utilizar la información (función psicológica) y la postura frente al mundo (estilo de vida). Básicamente, siguiendo la línea de Jung, ellas propusieron que las personas prefieren utilizar determinada actitud o función psicológica, las cuales denominaron de forma general como *preferencias*; y que a partir de la división anterior, se puede entrever por cuales se inclinan.

De esta manera, a través del Myers-BriggsTypeIndicator (MBTI), que es un test psicométrico que indica la inclinación hacia una preferencia respecto a otra, es posible determinar que funciones utiliza preferentemente una persona.

A continuación, se describen las cuatro dimensiones del MBTI.

- **Actitud: extroversión/introversión.** Este par refleja la fuente de la motivación y de qué forma fluye la energía en la persona. Para aquellos que se inclinan hacia la extroversión, su energía e intereses fluyen hacia el mundo exterior; básicamente, se podría decir que en ellos prima la acción. Por otro lado, para quienes tienen una tendencia hacia la introversión, su energía fluye hacia el fuero interno de sensaciones e ideas. Ellos prefieren reflexionar, después actuar y finalmente continuar meditando.

- **Funciones psicológicas: Intuición/ Sensación y Pensamiento/Sentimiento.** Las funciones psicológicas que proponen Myers-Briggs, se corresponden directamente con el modelo propuesto por Jung. Por un lado, las funciones de sensación e intuición se asocian con la forma en la que las personas recolectan, comprenden e interpretan la información del mundo. Mientras que aquellos que se inclinan por la función sensorial, perciben las cosas, los acontecimientos, las realidades con el uso de sus cinco sentidos, comprendiendo el mundo por intervención directa; los intuitivos, captan la realidad proyectada al futuro. Los hechos y experiencias son apreciados como un todo global, donde el todo es más que la suma de estos, dado que ellos tienen en cuenta los potenciales vínculos que los relacionan.

Por el otro lado, las otras dos funciones, se corresponden con la toma de decisión. Las personas que desarrollan la función racional, toman las decisiones objetivamente, siguiendo un razonamiento que se basa en la mera lógica, sin tener en cuenta la afectación a los demás. De manera antagónica, los emocionales,

toman las decisiones de forma subjetiva y personal, teniendo en cuenta la necesidad social y desarrollando empatía por la situación.

➤ **Estilos de vida: Calificador/Perceptivo.** Según Myers y Briggs, la gente también posee una preferencia en cuanto al uso de la función de decisión (Racional o Emocional) o la función de percepción (Sensación o Intuición) teniendo en cuenta cuál era su actitud frente al mundo exterior (Extroversión). Así, se pueden diferenciar dos tipos: los Calificadores y los Perceptivos. Los primeros, hacen frente al mundo exterior usando procesos de juicio (pensamiento o emotividad). Esta preferencia, los muestra al mundo como personas ordenadas, con un fuerte sentido de la organización, la planificación y el control. Mientras que los segundos, se enfrentan al mundo exterior mediante procesos de percepción (sensación o intuición); destacándose en ellos la adaptabilidad, la flexibilidad, la apertura y la espontaneidad.

### 3.2 Redes Sociales

Para Anderson, el estudio de la formación de equipos no puede dejar de lado la estructura de redes sociales subyacente en éstos, que conecta a los individuos e influye en la forma en que los miembros se desenvuelven dentro del grupo. Sin dejar de lado las características propias de cada uno que impactan en la dinámica de un grupo, él remarca que las decisiones que toman sus miembros están mediadas por conexiones sociales; es decir, generalmente las personas tienden a conformar grupos entre colegas y conocidos antes que con extraños [8].

En sus trabajos, propone analizar el papel que juega la estructura de conexiones sociales a la hora de elegir un grupo. Para ello, parte de los siguientes supuestos: por un lado, establece dos cursos de acción al momento de la elección: “fundar” un grupo o agregarse a uno ya existente. Así, él define que los grupos ya conformados generan una “externalidad” que resulta atractiva para los que se encuentran fuera del equipo. Esta fuerza, por momentos es positiva, porque logra sumar nuevos integrantes, pero llega un punto donde se vuelve nociva, provocando que haya sobrepoblación. Por el otro, supone una red social que vincula a las personas que se conocen entre sí, generando otra fuerza que influye en el accionar.

De esta manera, modelando el problema de formación de grupos como un juego dinámico, estudia dos casos particulares, el primero donde los individuos tenían “libertad de elección”; y el segundo en el que estaban restringidos por la red social. En líneas generales, las conclusiones a las que llegó Anderson fueron que, para el primer caso de estudio, los grupos resultantes eran muy populosos y la conformación de los nuevos era extraña, pues pocos asumían los riesgos aparejados. De esta manera, la eficiencia de los grupos obtenidos era baja, dado que los choques de intereses eran insalvables. Para el segundo caso, donde las personas estaban sujetas a la restricción de que sólo podían conformar un equipo si en éste había alguna persona con la cual tuviesen un vínculo (según la red social), observó que la restricción obligaba a la conformación de más grupos, que éstos tenían un tamaño menor y que los miembros tendían a compartir los mismos

temas de interés.

#### 4 La formación de equipos bajo un enfoque SAT

Tal como se describe en [9], la asignación de personas a un equipo, donde la elección radica tanto en las características del individuo así como en los aspectos a cubrir dentro del grupo, puede ser visto como un problema de satisfacción de restricciones. Básicamente, estos tipos de problemas se definen formalmente como una tripleta  $\langle V, D, C \rangle$ , donde  $V$  es el conjunto de variables,  $D$  es dominio de los valores que pueden adoptar las variables, y  $C$  es el conjunto de restricciones.

Al instanciarlo en esta problemática en particular,  $D$  es un conjunto donde existen dos valores posibles  $\{0, 1\}$ , que se traducen a: forma parte del equipo (1) o no (0). Por el lado de las restricciones, vale pena observar que en el mundo real de las aplicaciones, existen restricciones de diferentes tipos. Mientras hay algunas que son obligatorias y se deben cumplir para que las soluciones sean válidas; otras, sólo afectan la calidad de la solución, es decir, pueden existir soluciones que las violen – a costa de una calidad baja –. Las primeras se denominan *restricciones fuertes* y las segundas, *restricciones débiles*. Sin embargo, la definición de una restricción como *fuerte* o *débil* no es algo rígido, sino que, en muchas circunstancias, depende de quién esté formando los equipos.

La introducción de diferentes tipos de restricciones obliga a redefinir el problema, ahora como un problema de optimización. En otras palabras, las *restricciones débiles* implican que las soluciones propuestas, además de cumplir con todas las *restricciones fuertes*, tendrán asociadas una penalización que se desprende del grado de violación de las primeras. De esta manera, se puede definir formalmente a esta problemática como  $F(A) = \sum C_i(A).cost_i(A)$ , donde  $A$  es un vector de asignación –por ejemplo,  $A = (x_1 = 0, \dots, x_i = 1, \dots, x_n = 1)$  –, y cada restricción tiene un costo asociado – en el caso de las *restricciones fuertes* el costo es infinito ( $\infty$ ) –.

Desde el área de Inteligencia Artificial es posible encontrar diversos enfoques y técnicas, tales como backtracking, búsqueda local, algoritmos evolutivos, que permiten abordar un problema de satisfacción de restricciones como el propuesto en la sección anterior. En este trabajo, quien escribe se inclinó por un enfoque de optimización de modelos pseudo-booleanos, porque su utilización permitía la posibilidad de definir modelos donde se conjugaban de manera natural los dos tipos de restricciones. Éste parte de la noción de expresión pseudo-booleana, entendida como:

$$F(x_1, \dots, x_n) = \sum c_i * x_i + \sum c_{ij} * x_i * x_j + \dots \quad \{c_i, c_{ij} \in R \mid x_i \in B_2\} \quad (1)$$

A partir de dicha definición, este enfoque propone definir un sistema de ecuaciones con una función objetivo a optimizar. Para resolver los modelos pseu-

do-booleanos se utilizó el framework *SAT4J*<sup>2</sup>, que ofrece un abanico de algoritmos para manipular estos tipos de sistemas.

Desde el punto de vista del modelado de las restricciones, a diferencia de otros trabajos, el asistente posee la flexibilidad para que el “seleccionador” pueda decidir qué restricciones se deben tener en cuenta para cada equipo y establecer de qué tipo son. Para ello, fue necesario modelar cada restricción tanto *fuerte* como *débil*. En los siguientes apartados, se describen las restricciones modeladas en el asistente.

#### 4.1 Cantidad de integrantes

Suponiendo que se desea un grupo de  $m$  integrantes y que se tiene un conjunto de  $n$  personas, la condición se puede escribir de la siguiente manera:

$$x_1 + x_2 + \dots + x_n = m \quad (2)$$

#### 4.2 Miembros obligatorios

En algunas ocasiones, puede ser que el “seleccionador”, desee formar un equipo de manera tal que ciertas personas sean parte éste. Para el modelo, que una determinada persona sea asignada a un grupo, implica que la incógnita que la representa tome el valor 1. Básicamente, para inducir a que esta situación ocurra, en el modelo se puede definir la siguiente condición:

$$x_i = 1 \quad (3)$$

#### 4.3 Roles de Mumma

Según Mumma, desde su teoría de roles, para que un grupo sea un equipo se deben dar dos condiciones: primero, que todos los roles deben estar cubiertos; segundo, se debe evitar la sobrepoblación de un rol dentro de éste. Con lo cual, por cada rol se puede definir las siguientes inecuaciones:

$$x_i + x_j + \dots + x_r \geq 1 \quad (4)$$

$$x_i + x_j + \dots + x_r \leq m/2$$

donde  $x_i, x_j, x_r$  son personas que desempeñan el mismo rol

Por otro lado, también se quiere rescatar el aporte realizado por Mumma [4] al estudio de la formación de equipos, con el concepto de roles balanceados. Comprendiendo que en principio se trata de una condición deseable, pero que no siempre puede ser cumplida, ésta se modela como una *restricción débil*. Es decir,

<sup>2</sup><http://www.sat4j.org/>

en el modelo pseudo-booleano, aquello forma parte de la función objetivo:

$$\min: C_b * x_i + C_b * x_j + \dots \quad (5)$$

donde  $x_i, x_j$  son personas que no poseen la característica y  $C_b$  es el costo por agregarlo al grupo

#### 4.4 Dicotomía Myers-Briggs

Para Myers-Briggs, en la formación de grupos colaborativos es necesario que haya heterogeneidad de personalidades, sin sobreabundancia de un determinado tipo, logrando un equilibrio de cada dicotomía. Con lo cual, para lograr dicha diversidad se puede plantear para cada preferencia del par las siguientes desigualdades:

$$\begin{aligned} x_i + x_j + \dots + x_s &= m/2 \\ x_h + x_k + \dots + x_t &\leq m/2 \end{aligned} \quad (6)$$

donde  $x_i, x_j, x_s$  son personas que se inclinan por una preferencia; y  $x_h, x_k, x_t$  por su opuesta

#### 4.5 Correlación de los roles de Mumma con los perfiles de Myers-Briggs

Teniendo en cuenta el estudio de Balmaceda [13] que refleja la importancia de que cada rol fuese llevado a cabo por una persona con un determinado perfil psicológico, pero también consciente de que muchas veces la población sobre la cual se trabaja dista mucho de tener la diversidad deseada, esta condición se traduce como una *restricción débil*. Para llevar aquello al modelo pseudo-booleano, se agrega a la función objetivo los siguientes términos:

$$\min: C_c * x_i + C_c * x_j + \dots \quad (7)$$

donde  $x_i, x_j$  son personas que no poseen la característica y  $C_c$  es el costo por agregarlo al grupo

#### 4.6 Red Social

Tomando las ideas de Anderson [8], en esta condición lo que se busca es evitar que haya personas que no se conozcan, caso contrario se deberá penalizar a dicho grupo, dado que esto se considera nocivo para el ambiente del grupo.

Básicamente, cada relación de la red social se puede ver como una conjunción entre dos personas. Entonces, por cada par, hay que consultar en la red social si están conectados; en caso de que así sea, el costo asociado es nulo; caso contrario, a dicha dupla se le debe asignar un costo. Entendiendo que esto es una condición deseable, por ser muy dependiente de cada población con la que se trabaja, se agrega esta restricción a la función objetivo:

$$\min: C_{RS} * x_i * x_j + \dots \quad (8)$$

donde  $x_i, x_j$  son personas y  $C_{rs}$  es el costo por agregarlos al mismo grupo

#### 4.7 Competencias técnicas

Entendiendo que cada persona posee determinadas aptitudes técnicas (conocimientos de un lenguaje de programación, de idioma, etc.) y que el equipo se forma para llevar a cabo una serie de tareas, que requieren tener destrezas específicas; entonces, para modelar este tipo de restricciones, primero es necesario filtrar aquellos usuarios que poseen las competencias deseadas y, con aquel subconjunto definir una restricción para el puesto en cuestión. Algebraicamente, sería:

$$x_i + x_j + \dots + x_r \geq I \quad (9)$$

donde  $x_i, x_j, x_r$  son personas que poseen las competencias para llevar adelante el puesto

#### 4.8 Restricciones fuertes/débiles

Dado que uno de los objetivos propuestos para el asistente fue que el “seleccionador” tenga la posibilidad de decidir cuales restricciones serían *fuertes* y cuales *débiles*, se debieron representar las restricciones *fuertes* como *débiles*, y viceversa.

Por el lado del pasaje de las *débiles* a *fuerte*, se estableció una cota y luego, se escribieron los términos dentro de una desigualdad tal que, la suma no supere la cota. Por ejemplo, si se observa el modelado de la teoría de Red Social, siguiendo los pasos anteriores uno obtendría:

$$\min: C_{RS} * x_i * x_j + \dots \rightarrow C_{RS} * x_i * x_j + \dots + C_{RS} * x_{n-1} * x_n \leq Cota \quad (10)$$

donde  $x_i, x_j, x_{n-1}, x_n$  son personas y  $C_{RS}$  es el costo por tenerlas en el grupo

Por otro lado, el caso inverso requiere de otro análisis. Suponiendo que se quiere relajar la condición *fuerte*, entonces, se puede afirmar que sólo se debe penalizar aquellos casos donde la desigualdad no haya sido respetada. Esto, deja entrever, por un lado, la necesidad de definir un costo como penalización; y por el otro, el tener que modificar la condición, para que cuando se supere el máximo ideal, la desigualdad siga siendo verdadera (sino el sistema no podría ser satisfecho).

En base a lo anterior, la solución propuesta consistió en agregar una nueva variable que funcionase como contrapeso; en decir, la incógnita tiene asociada un valor negativo tal que, si la asignación supera el máximo definido para la desigualdad, ésta se puede activar –es decir, que tome el valor 1– volviéndola a hacer verdadera. Claro que la variable, además, debe formar parte de la función

objetivo con el valor del costo asociado, con lo cual su asignación es penalizada.

Tomando como ejemplo lo hecho para la teoría de Roles, la relajación de dicha condición sería:

$$\begin{array}{l}
 x_i + x_j + \dots + x_r \geq I \\
 x_i + x_j + \dots + x_r \leq m/2
 \end{array}
 \rightarrow
 \begin{array}{l}
 \min: C_R * x_R \\
 x_i + x_j + \dots + x_r \geq I \\
 -Cota * x_R + x_i + x_j + \dots + x_r \leq m/2
 \end{array}
 \quad (11)$$

donde  $x_i, x_j, x_s$  son personas que desempeñan el mismo rol,  $x_R$  es la variable de contrapeso, Cota es un valor tan alto que haga verdadera la inecuación para el peor caso, y  $C_R$  es el costo por relajar la condición

#### 4.9 Formación de $n$ grupos de $k$ integrantes

Para poder plantear un modelo que considere la formación de  $n$  equipos, es necesario analizar la cuestión a nivel grupos. Es decir, el modelado de las restricciones para un grupo tiene que seguir siendo igual, dado que la definición de ellas no ha cambiado; sólo que ahora, es necesario definir un conjunto de variables, independientes entre sí, para cada equipo. Planteando el asunto como un grafo bipartito, donde un conjunto de nodos representa a las personas y el otro, a los grupos, las variables para este modelo deben ser los arcos y no los nodos. Con lo cual, el sistema debe contar con  $n * p$  variables, donde  $n$  es el número de equipos y  $p$  la población total. Gráficamente, se puede ver así:

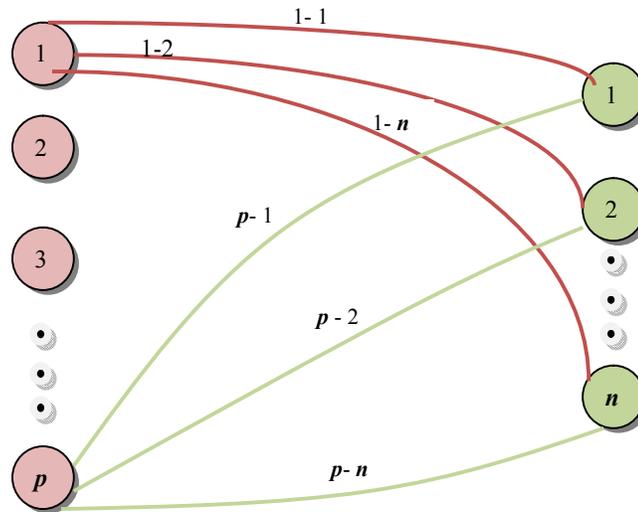


Fig 2. Grafo bipartito para el modelado de  $n$  grupos de  $k$  integrantes

Al trabajar con los arcos en vez de los nodos, resulta claro que a una persona le corresponden varios arcos (uno por cada equipo). Con lo cual, ahora es

necesario modelar la restricción de que una persona sólo puede ser asignada a un solo grupo. Para ello, alcanza con exigir que la suma de todas las representaciones de una persona (lo que equivale a todos los arcos que salen de éste) sea menor o igual a uno. Teniendo en cuenta que el identificador de cada arco se calcula mediante la expresión  $(j - 1) * i$ , donde  $j$  es el número de grupo e  $i$  el de integrante, la restricción se puede escribir como:

$$x_1 + x_{p+1} + \dots + x_{(j-1)*p+1} + \dots + x_{(n-1)*p+1} \leq 1 \quad (12)$$

## 5 Resultados experimentales

Desde el punto de vista experimental, el objetivo del trabajo fue analizar cómo variaba el comportamiento del asistente a medida que se definían instancias más complejas y con modelos de restricciones más relajadas, tomando como referencias el tiempo de ejecución y la calidad de la solución obtenida. Para su realización, se tomó un conjunto de datos correspondiente con 44 estudiantes, que habían realizado el curso de Trabajo Colaborativo Soportado por Computadoras en el año 2011 en la carrera de Ingeniería de Sistemas de la UNCPBA.

Específicamente, los casos de estudios contaron con la siguiente configuración: todas las restricciones del modelo se definieron como restricciones *débiles* (con lo cual todas formaron parte de la penalización); y se formaron 3, 4 y 5 equipos de 8 integrantes cada uno, así como 3 y 4 equipos de 10 individuos. Además, el tiempo máximo de ejecución se estableció en 1, 2 y 4 horas. Por último, hay que destacar que para este experimento sólo se consideró la última solución encontrada por el algoritmo al momento de finalizar su ejecución. Estas pruebas fueron ejecutadas sobre un procesador Intel Pentium B960 2.20 GHz con 4 GB de memoria RAM, y Sistema Operativo Windows 64 bits.

Resulta interesante observar como varían las soluciones a medida que se amplió el tiempo de ejecución. Al tomar como referencia la penalización global, tal como se puede apreciar en los gráficos de la Figura 3, la relación de ésta con el tiempo no fue inversamente proporcional como se hubiese imaginado, sino que se dio una distribución casi azarosa. Para comprender la causa es necesario analizar cada uno de los equipos del conjunto.

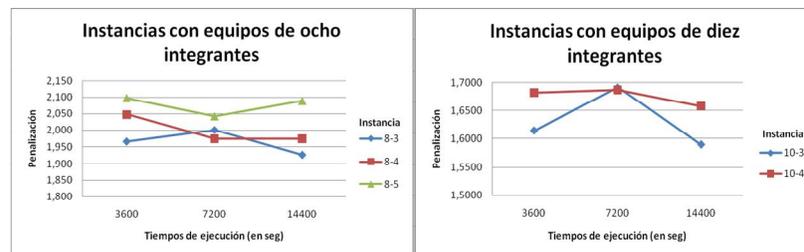


Fig 3. Dispersión de la penalización según los tiempos de ejecución

Para ello, se tomó cada una de las instancias (por ejemplo, 3 equipos de 8 integrantes) y se comparó cada uno de los equipos obtenidos para los diferentes tiempos de ejecución (3600 *seg*, 7200 *seg* y 14400 *seg*), tal como se puede ver en la Figura 4. Se observó que, en general, para los tiempos de ejecución “3600” y “7200” ocurría que se establecía un equipo con una penalización muy baja respecto de los demás, es decir que cumplía con la mayoría de las restricciones, pero los otros equipos tendían a una penalización alta, siendo más bien mediocres. Sin embargo, para el tiempo de ejecución “14400”, en la mayoría de los casos, se alcanzaron equipos con una penalización equilibrada, donde todos cumplían un conjunto análogo de restricciones.

También es cierto que lo anterior no se cumplió para el caso de la formación de 5 equipos de 8 integrantes, donde la solución encontrada luego de 2 horas (7200 *seg*) resultó poseer equipos más equilibrados que la alcanzada en 4 horas (14400 *seg*). Básicamente, una de las causas fue que la complejidad del modelo se disparó respecto a los casos anteriores, con lo cual, se necesitaría darle un mayor tiempo ejecución para alcanzar una solución cuyos equipos tengan una penalización similar.

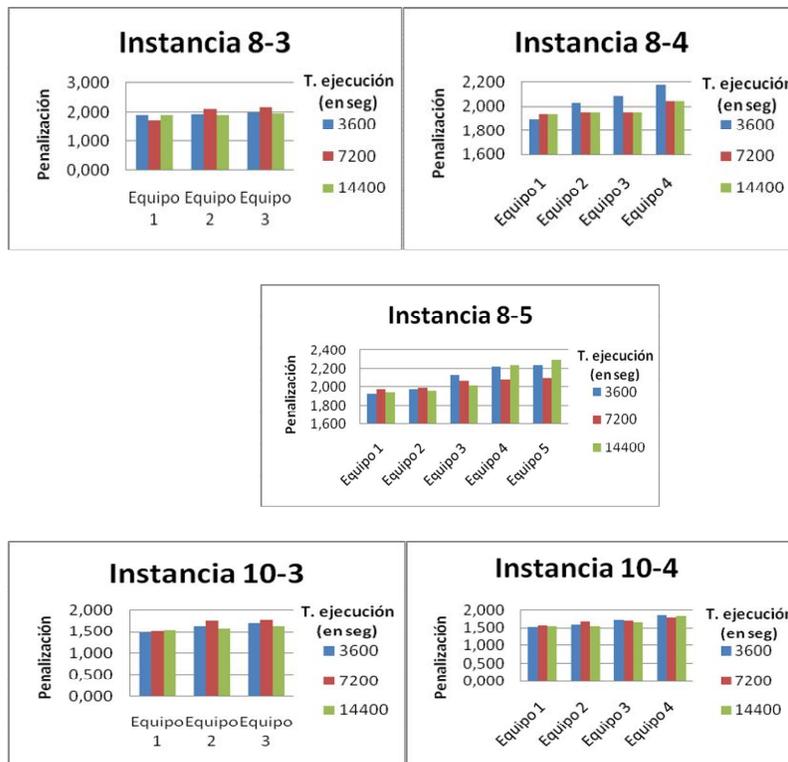


Fig 4. Distribución de la penalización por equipos

## 6 Trabajos relacionados

En la actualidad, desde el área de Inteligencia Artificial se han propuesto distintas técnicas y herramientas para tratar el problema de la asignación de miembros a un grupo. De hecho, sólo basta buscar en estos últimos diez años, para ver la enorme cantidad de trabajos realizados.

Entre ellos se pueden encontrar el trabajo propuesto en [9], donde se presenta un asistente para la formación de grupos de trabajo apoyándose en las teorías de Mumma y Myers-Briggs para determinar las características del equipo. Desde el punto de vista técnico, utilizaron un enfoque de satisfacción de restricciones y otro de satisfacción de restricciones ponderadas. De esta manera, con el segundo enfoque lograban tener un conjunto de restricciones que eran obligatorias y otro grupo de condiciones deseables.

En una línea similar, el trabajo realizado por Moreno [14] propone un método para la formación de equipos, aunque basado en un enfoque de algoritmos genéticos, para lograr grupos inter-homogéneos e intra-heterogéneos. El principal rasgo de éste es que considera las múltiples características de los integrantes (la cantidad que se desea), transformando el problema en cuestión en uno de optimización de múltiples objetivos.

Otro proyecto que ataca el problema es el sistema realizado por Lin [12], quienes formularon el problema de composición de grupos de aprendizaje colaborativo teniendo en cuenta el nivel y los intereses de los estudiantes. El modelo está basado en un enfoque llamado optimización por enjambre de partículas, y proponen una mejora a este enfoque para la composición de grupos de aprendizaje colaborativo bien estructurado.

## 7 Conclusiones

En este trabajo se presentó un asistente automatizado basado en un enfoque de satisfacción de restricciones, que considera cuatro características –el perfil psicológico, los roles a desempeñar, las redes sociales y las competencias técnicas–, para la formación de equipos de trabajo. El principal objetivo de éste, fue proponer un enfoque que pudiese lidiar con modelos flexibles.

Así, la utilización del enfoque de optimización pseudo-booleano ofreció la posibilidad de definir modelos donde se conjugaban de manera natural los dos tipos de restricciones. Esta bondad del enfoque permitió que sea el “seleccionador” quien defina los modelos, teniendo la opción de relajar las condiciones. Con esto, se pudo superar la visión de modelo único de equipo propuesto en [9] y se pudo alcanzar cierto grado de independencia respecto de los datos.

Como trabajos que se podrían llevar adelante en un futuro, resultaría interesante utilizar otro enfoque del área de Inteligencia Artificial, tal como los algoritmos evolutivos, como motor de búsqueda, para poder comparar las soluciones propuestas por uno y otro. Particularmente, sería interesante comparar dicha

técnica contra la utilizada en este trabajo, porque los algoritmos evolutivos tienen la capacidad de obtener soluciones aproximadas en tiempos cortos, incluso para instancias complejas.

## 8 Referencias

1. R. M. Belbin. *Management teams: Way they succeed or fail*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1981.
2. R. M. Belbin. *Team roles at work*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1993.
3. F. Mumma. *Team work & Team-Roles*. King of Prussia: HRDQ, 1992.
4. F. Mumma. *Team work & Team-Roles: What makes your team tick?*. HRDQ; 3rd edition, 2005.
5. I. Myers. *Manual: The Myers-Briggs Type Indicator*. Princeton, N.J.: Educational Testing Service, 1962.
6. I. Myers Briggs and P.B. Myers. *Gifts Differing: Understanding Personality Type*. Davies-Black Publishing, 1980.
7. R. Mitchell, S. Nicholas and B. Boyle. The role of openness to cognitive diversity and group processes in knowledge creation. *Small Group Research*, 40(5):535-554, 2009.
8. K. Anderson. *Group Formation with a Network Constraint*. Carnegie Mellon University, Tepper school of business (<http://repository.cmu.edu/tepper/1403/>), 2008.
9. J. Bais, J. Giletto, J. Balmaceda, S. Schiaffino, and A. Díaz Pace. An Assistant for Group Formation in CSCL based on Constraint Satisfaction. Córdoba: Proceedings ASAI 2013, Simposio Argentino de Inteligencia Artificial, 2013.
10. V. Pieterse, D. G. Kourie, and I. P. Sonnekus. Software engineering team diversity and performance. In *Proceedings of the 2006 annual research conference of the South African institute of computer scientists and information technologists on IT research in developing countries*, SAICSIT '06, pages 180-186, 2006.
11. M. F. Winter. Developing a group model for student software engineering teams. PhD thesis, 2004.
12. Y. Lin, Y. Huang, S. Cheng. An automatic group composition system for composing collaborative learning groups using enhanced particle swarm optimization. *Computers and Education*, 55:1483-1493, 2010.
13. J. Balmaceda. *Análisis de Personalidad en el Desarrollo de Software*, 2012.
14. J. Moreno, D. A. Ovalle, and R. M. Vicari. A genetic algorithm approach for group formation in collaborative learning considering multiple student characteristics. *Computers & Education*, 2011