

Creación automática de equipos de estudiantes universitarios: una experiencia desde la asignatura Inglés

Marcelo, Haro-Gavidia¹; Guisella, Chabla-Galarza²; Miguel, Montalvo-Robalino³; David Coello-Chabla⁴; Pavel, Novoa-Hernández⁵

Resumen

Uno de los principales objetivos en la educación es lograr que los estudiantes desarrollen la capacidad de trabajo en equipo. Esta capacidad potencia la socialización entre los estudiantes y la resolución de problemas complejos. Comúnmente, la creación de estos equipos es realizada por el docente de la asignatura, quien debe tener en cuenta múltiples criterios como la presencia de un estudiante líder y equipos heterogéneos. Este proceso se torna complejo cuando existen muchos estudiantes, y por lo general no existe garantía de que los equipos creados cumplan con los criterios deseados. En este sentido, la presente investigación propone una solución computacional que automatiza la creación de equipos de trabajo de estudiantes. Específicamente, la tarea de la creación de los equipos se modeló matemáticamente como un problema de optimización de tipo combinatorio y multi-objetivo, que fue resuelto a su vez por un algoritmo evolutivo basado en los conceptos de Dominancia de Pareto. Para validar las propuestas, se realizaron varios experimentos computacionales que involucran escenarios reales, relacionados con la asignatura Inglés en carreras de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Los resultados indican que la propuesta es capaz de crear equipos balanceados de acuerdo a los criterios considerados.

Palabras Clave: creación de equipos; educación superior; idioma Inglés; optimización multi-objetivo.

Automatic Building of University Student Teams: an experience from English subject

Abstract

One of the main goals for Higher Education is to educate students to work in teams. Such a skill not only improves their social behavior in the community, but also the ability for solving complex problems. Usually, the process of making teams is carried out by professor of the subject, who has to take into account several criteria (e.g. the presence of leader, heterogeneity of the team according the level of knowledge, sex, among others). When the subject has just few students, this task becomes easy. However, in the case of classes with a large number of students, this task becomes complex and there is no warranty about the accomplishment of the considered criteria. In that sense, the present work proposes a computational solution that automatizes the task of student teams building. Specifically, it was approached as a multi-objective combinatorial optimization problem, which was solved using a Pareto Dominance-based algorithm. In order to validate the proposal we performed several computational experiments involving real case studies from the English subject of three careers at the Technical State University of Quevedo. Results show that the proposed approach is able to build balanced teams according to the considered criteria.

Keywords: teams building; higher education; English teaching; multi-objective optimization.

Recibido: 23 de febrero de 2016

Aceptado: 3 de octubre de 2016

¹ Docente de Inglés en la Facultad de Ciencias Empresariales de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador. Máster en Investigación para el Desarrollo Educativo. Especialista Superior en Educación Universitaria. Licenciado en Ciencias de la Educación, profesor de enseñanza secundaria en la especialización de idiomas: Inglés y Francés. mharo@uteq.edu.ec

² Docente de Inglés en la Unidad de Estudios a Distancia de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador. Máster en Educación a Distancia y Abierta. Especialista en Diseño Curricular y Material Educativo para la Educación a Distancia. Licenciada en Ciencias de la Educación en la Especialidad de Inglés. gchabla@uteq.edu.ec

³ Docente de Inglés en la Facultad de Ciencias Empresariales de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador. Máster en Investigación para el Desarrollo Educativo. Especialista en Educación Superior. Licenciado en Ciencias de la Educación especialización Inglés. mamontalvo@uteq.edu.ec

⁴ Estudiante de quinto año de Ingeniería en Sistema de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador. davidcoello_25@hotmail.com

⁵ Docente contratado en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador. Doctor en Informática por la Universidad de Granada (España, 2013). Máster en Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial (Cuba, 2011). Ingeniero en Informática por la Universidad de Holguín (Cuba, 2007). Teléfono: 0987103680. pnovoa@uteq.edu.ec (Autor para la correspondencia).

I. INTRODUCCIÓN

El trabajo en equipo, (también conocido como aprendizaje cooperativo), es considerado como una de las competencias más importantes a lograr por los estudiantes en la Educación del Siglo XXI (UNESCO & Delors, 1997). De acuerdo a (Pozo & Pérez Echeverría (coord.), 2009), el aprendizaje cooperativo es clave para las denominadas sociedades del conocimiento y democráticas, para potenciar el aprendizaje significativo en los estudiantes, y como estrategia de instrucción en el contexto universitario. Fundamentalmente porque favorece la diseminación homogénea del conocimiento entre los estudiantes, la superación de la discriminación racial, de género, y social en los miembros del grupo, a la vez que desarrolla valores cruciales como el compromiso, la responsabilidad, el respeto y la empatía.

Sin embargo, un aspecto crucial en este recurso didáctico lo constituye el proceso de creación en sí de los equipos de trabajo. Comúnmente esta tarea es controlada por el docente de acuerdo a los objetivos educativos que se pretendan lograr, siendo un enfoque alternativo el dejar que los estudiantes conformen los equipos por ellos mismos, esto es, de acuerdo a sus preferencias personales (ej. amistad y compañerismo). Sin embargo, este proceder suele resultar limitado en tanto que no contribuye a potenciar las relaciones interpersonales de los estudiantes y la heterogeneidad de los equipos. Asimismo, existe una alta probabilidad de que surjan equipos elitistas que concentren a los mejores estudiantes de la clase.

Como consecuencia de lo anterior, se dificulta la colaboración eficiente entre los estudiantes y la difusión homogénea de los conocimientos. Por tal motivo, el control de este proceso por parte del docente es en extremo importante, al menos como mediador de los intereses y preferencias de los estudiantes. No obstante, cuando el número de estudiantes es alto, la creación de los equipos que cumplan con los objetivos educativos trazados, puede tornarse complejo. En otras palabras, no existen garantías que los equipos estén formados por integrantes con características diversas como su nivel de conocimiento, condición económica-social, vinculación al trabajo, sexo, etc.

Aunque en la literatura existen algunos trabajos importantes relacionados con el tema [véase por ejemplo (Glinz, 2005; Hughes & Jones, 2011)], hasta donde se conoce estos están enfocados a establecer solamente directrices sobre cómo formar los equipos, o los beneficios

de emplear este recurso educativo. Esto es, se asume que el docente es quién debe realizar esta tarea de forma manual. Por otro lado, existen trabajos que automatizan procesos de creación de equipos en el contexto de: la educación superior (Novoa-Hernández, Novoa-Hernández, & Rivero-Peña, 2013; Novoa-Hernández, 2015), el desarrollo de software (Escalera Fariñas, Infante Abreu, André Ampuero, & Rosete Suárez, 2014; Rivero Peña, Novoa-Hernández, & Fernández Ochoa, 2015), y los deportes (Ahmed, Jindal, & Deb, 2011). En todos estos trabajos se aplican técnicas computacionales que resuelven eficientemente problemas complejos de creación de equipos (Wegener, 2005). Sin embargo, es importante notar que aunque estas investigaciones constituyen propuestas interesantes, en ninguna se aborda directamente el problema de la creación de equipos de estudiantes universitarios. De manera que, resulta de interés conocer cómo aprovechar los avances actuales de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), para automatizar este proceso.

En aras de brindar respuestas a esta interrogante científica, la presente investigación tiene por objetivo proponer una solución matemático-computacional que automatice eficientemente el proceso de creación de equipos de trabajo de estudiantes, en el ámbito universitario. Específicamente la propuesta enfoca a este proceso como un problema de optimización multi-objetivo, que es resuelto aplicando un método computacional que ofrece múltiples soluciones de calidad en un tiempo razonable. Como consecuencia, el docente dispondrá de diversas alternativas a partir de las cuales podrá elegir la que más se ajuste a sus preferencias. Para validar la propuesta se emplearon datos provenientes de la enseñanza de la asignatura Inglés en la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, ubicada en la provincia de Los Ríos, Ecuador. Los resultados muestran que la propuesta aborda eficazmente el problema planteado.

Para una mejor comprensión de la investigación desarrollada, el resto del artículo queda estructurado de la siguiente forma: en la Sección “Materiales y métodos” se exponen en detalle el modelo matemático propuesto y el método de solución aplicado. En la Sección “Análisis experimental” se valida la propuesta a partir de escenarios reales obtenidos de la Unidad de aprendizaje Inglés, en la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (Ecuador). Finalmente en la Sección “Conclusiones” se resumen las principales conclusiones y trabajos futuros de la investigación.

II. DESARROLLO

1. Materiales y métodos

En esta sección se describe más detalladamente el problema a resolver, incluyendo el modelo matemático propuesto.

Modelo matemático propuesto

De manera informal el problema de la creación de equipos puede ser establecido de la forma siguiente:

Sean conocidos por cada estudiante de una unidad de aprendizaje su nivel de conocimiento en la unidad, su condición socio-económica, su vinculación laboral, y su sexo, crear “e” equipos de “m” estudiantes de manera que se maximice la heterogeneidad (diversidad) por cada equipo atendiendo a:

1. Nivel de conocimiento en la unidad de aprendizaje,
2. Condición socio-económica,
3. Vínculo laboral, y
4. Sexo.

Adicionalmente, es deseable la presencia de al menos un estudiante líder en cada equipo.

La descripción anterior puede ser transformada en un modelo matemático conducente a un problema de optimización. En especial, de tipo multi-objetivo, como se detalla a continuación.

Datos. Se asumirá que se cuenta con los siguientes datos:

n : cantidad de estudiantes de la clase.

m : cantidad máxima de estudiantes que tendrá un equipo.

$e = \lceil n/m \rceil$: número de equipos a formar, donde $\lceil \cdot \rceil$ representa el operador parte entera.

$h_i \in \{0,1,2\}$: Nivel en la conocimiento del estudiante i . Donde:

- 0 corresponde a un nivel bajo (el estudiante está mal en la habilidad),
- 1 corresponde a un nivel medio, y
- 2 corresponde a un nivel bueno.

$c_i \in \{0,1\}$: Nivel económico-social del estudiante i . Donde:

- 0 corresponde a un nivel bajo, y
- 1 corresponde a un nivel aceptable.

$t_i \in \{0,1\}$: Si trabaja o no el estudiante i . Donde:

- 0 no trabaja,
- 1 trabaja.

$s_i \in \{0,1\}$: Sexo del estudiante i . Donde:

- 0 si es femenino, y
- 1 si es masculino.

$l_i \in \{0,1\}$: Competencia de liderazgo del estudiante i . Donde:

- 0 no tiene la competencia,
- 1 tiene la competencia.

Variables

Las variables de decisión corresponderán a la asignación de un estudiante a un equipo determinado. Formalmente, se definen como $x_{ij} \in \{0,1\}$, donde:

- 0 significa que el estudiante i no pertenece al equipo j ,
- 1 por el contrario.

Restricciones

Las principales restricciones del problema tienen que ver con la estructura del equipo. Formalmente se tendrán en cuenta las siguientes.

- Restricciones funcionales de capacidad del equipo (todos los equipos tienen e integrantes).

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = m \quad \forall j = 1, \dots, e$$

- Restricciones funcionales de pertenencia de los estudiantes (un estudiante pertenece a un solo equipo):

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = 1 \quad \forall i = 1, \dots, n$$

- Restricciones de dominio de las variables de decisión:

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i = 1, \dots, n \quad \forall j = 1, \dots, m$$

Funciones objetivo. Las funciones objetivo establecen de manera cuantitativa las metas que se desean alcanzar al resolver el problema. Sirven para evaluar cuán buena, o no, resulta una solución determinada. En el caso del presente modelo se tuvieron en cuenta los requerimientos planteados en la descripción informal del problema, la cual fue establecida anteriormente. Básicamente se persigue maximizar la diversidad (heterogeneidad) de los integrantes de los equipos atendiendo a cuatro criterios, 1) nivel de conocimiento en la unidad de aprendizaje, 2) nivel económico-social, 3) vínculo laboral, y 4) sexo. De manera que habría que emplear una función que permita cuantificar adecuadamente la diversidad del equipo. Nótese que los indicadores 1, 2, y 3 pueden asumirse como de tipo ordinal, mientras que el sexo no. Sin embargo, la característica de ser ordinal no resulta imprescindible para el cálculo de la diversidad

y en especial, para los propósitos de la investigación. Una posible solución sería tratar a todos los indicadores como nominales, y aplicar una medida de dispersión cualitativa para el cálculo de la diversidad, véase por ejemplo Teachman (1980).

Aunque la literatura muestra varias alternativas para el cálculo de esta medida, en la presente investigación se ha adoptado el índice de Mueller y Schuessler (Mueller, Schuessler, & Costner, 1977) (en adelante índice MS), por su calidad y por su facilidad de cálculo. Este índice es análogo a la varianza en el caso de variables continuas.

Concretamente, sea un equipo A compuesto por integrantes caracterizados por un indicador nominal V cualquiera.

$$V_A = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$$

Se tendría el siguiente vector de caracterizaciones donde cada corresponde a un estudiante. Entonces, la diversidad del equipo A de acuerdo al indicador V sería la siguiente:

$$D(V_A) = 1 - \frac{1}{m^2} \frac{K}{K-1} \sum_{i=1}^K \left(f_i - \frac{m_i}{K} \right)^2 \quad (1)$$

donde K es la cantidad de valores posibles que puede tomar el indicador V , y f_i es la frecuencia del valor i en el vector V_A . Es de notar que H toma valores en el rango $[0,1]$, en el que un valor cercano a 1 corresponde a una diversidad alta, mientras que uno cercano a 0 lo contrario. Para comprender mejor este cálculo, en lo que sigue se abordará un ejemplo.

Ejemplo: Suponga que se cuenta con dos equipos A y B formados por 3 estudiantes cada uno. Y que según el indicador sexo, el equipo A posee la siguiente estructura $S_A = \{M, F, M\}$ mientras que el B , $S_B = \{F, F, F\}$. A simple vista se puede apreciar que el equipo A es más diverso que el B , pues consta de dos hombres y una mujer, mientras que el B solo está compuesto por mujeres. De igual manera, el total de integrantes de cada equipo es $m = 3$ y el total de valores posibles del indicador sexo es $K = 2$, pues solo se tienen dos posibilidades, esto es, masculino (M) y femenino (F). La frecuencia absoluta

(ocurrencias) de M y F y, en el equipo A son $f_1 = 0$ y $f_2 = 3$, respectivamente. En el caso de B , serían y, respectivamente. Entonces, aplicando la fórmula de la Expresión (1) se tiene:

$$D(S_A) = 1 - \frac{1}{3^2} \frac{2}{2-1} \left[\left(2 - \frac{0}{2} \right)^2 + \left(1 - \frac{3}{2} \right)^2 \right] \approx 0.89$$

$$D(S_B) = 1 - \frac{1}{3^2} \frac{2}{2-1} \left[\left(0 - \frac{3}{2} \right)^2 + \left(3 - \frac{3}{2} \right)^2 \right] = 0.00$$

Como era de esperar, $H(S_A) > H(S_B)$ indicando que el equipo A es más diverso (heterogéneo) que el B .

Lo anterior lleva a definir cuatro funciones basadas en la Expresión (1), que corresponderán a las funciones objetivo de los indicadores relacionados con la heterogeneidad de los equipos, en cuanto a condición económico-social (F_1), habilidades en la asignatura (F_2), vínculo laboral (F_3), y sexo (F_4):

$$\max_X F_1(X) = \sum_{j=1}^e D(C(X_j)) \quad (2)$$

$$\max_X F_2(X) = \sum_{j=1}^e D(H(X_j)) \quad (3)$$

$$\max_X F_3(X) = \sum_{j=1}^e D(T(X_j)) \quad (4)$$

$$\max_X F_4(X) = \sum_{j=1}^e D(S(X_j)) \quad (5)$$

Aquí, las funciones C , H , T , y S toman como argumento la j -ésima fila (equipo j) de la matriz X , y retornan un vector con valores correspondiente a los integrantes del equipo j de acuerdo al indicador en cuestión. Esto es, para los integrantes del equipo j , C retorna los niveles económico-sociales, H el nivel de habilidades en la asignatura, T la vinculación al trabajo, y S los sexos.

Si se observa con detenimiento las Expresiones (2-5), puede verse que el objetivo es maximizar la diversidad total que se obtiene de sumar la diversidad particular de cada equipo. Por otro lado, no se puede olvidar el requerimiento de que es deseable que cada equipo tenga un estudiante líder que organice y guíe el trabajo de los integrantes. En este sentido, se propone una función simple que verifica si existe un líder en cada equipo. Formalmente esta función sería:

$$\max_X F_5(X) = \sum_{j=1}^e L(X_j) \quad (6)$$

donde $L: B^m \rightarrow B$, es una función booleana que toma como argumento al equipo X^i y retorna 0 si no existe un líder en el equipo, y 1 por el contrario. Como se aprecia, el objetivo en la Expresión (6) es maximizar la presencia de líderes en equipos.

Para tener una idea de la complejidad del problema que ocupa a esta investigación, considere un escenario hipotético en el que se desean crear 5 equipos de 4 integrantes a partir de 20 estudiantes. Desde el punto de vista combinatorio el número de alternativas (soluciones) vendría dado por la siguiente expresión:

$$||\Omega|| = \prod_{i=0}^{e-1} C(n - e \cdot i, m) = \prod_{i=0}^{e-1} \frac{(n - m \cdot i)!}{m! (n - m \cdot i - m)!} \quad (7)$$

En el caso de nuestro ejemplo hipotético tenemos $n=20$, $m=4$ y $e=5$. Resultando en un espacio de búsqueda de tamaño:

$$||\Omega|| = \prod_{i=0}^{4} C(20 - 4 \cdot i, 4) = \prod_{i=0}^{4} \frac{(20 - 4 \cdot i)!}{4! (20 - 4 \cdot i - 4)!} = 3.05 \times 10^{11}$$

Como se aprecia, son numerosas las alternativas para la creación de equipos que se tienen que considerar, tarea que para un solo ser humano no solo resulta tediosa, sino también en un gasto de tiempo excesivo. Por tal motivo el uso de técnicas computacionales se hace necesario en este contexto.

Método computacional aplicado

Las características del modelo anterior posibilitan elegir convenientemente cuál o cuáles métodos resultan más adecuados para darle solución al mismo. La primera característica que se evidencia es que se trata de un problema multi-objetivo y dado que interesa brindarle al docente la mayor flexibilidad de elección, se ha adoptado un enfoque de solución basado en los conceptos de Dominancia de Pareto (Zhou et al., 2011). Concretamente, se aplicó el algoritmo NSGA-II (Deb, Pratap, Agarwal, & Meyarivan, 2002) en su versión elitista controlada, la cual se encuentra implementada en el software *Matlab* (MATLAB, 2015). Este algoritmo es concretamente una técnica meta-heurística (Boussaïd, Lepagnot, & Siarry, 2013) basada en el paradigma evolutivo algoritmo genético, y en conceptos de Dominancia de

Pareto. Estas características le posibilitan encontrar múltiples soluciones óptimas, o casi óptimas, en un tiempo razonablemente corto. En otras palabras, el docente obtendrá diversas soluciones alternativas de manera rápida.

Obviamente otros algoritmos podrían haberse aplicado (véase (Zhou et al., 2011), pero se justifica la elección de NSGA-II por la efectividad mostrada en diversos escenarios complejos y similares al problema que motiva esta investigación. Ejemplo de estos escenarios incluyen: Análisis estructural (Método Escenario de Godet) (Villacorta, Masegosa, Castellanos, Novoa, & Pelta, 2011), Robótica (Saravanan, Ramabalan, Ebenezer, & Dharmaraja, 2009), Planificación (Saadatseresht, Mansourian, & Taleai, 2009), Bioinformática (Shin, Lee, Kim, & Zhang, 2005), Control Automatizado (Woźniak, 2011), entre otros.

No obstante, para poder adaptar el NSGA-II al modelo propuesto fue necesario redefinir los operadores de *inicialización*, *cruzamiento* y *mutación* de este algoritmo. Otro aspecto importante es que la codificación (representación) de las soluciones (individuos) resulta más adecuada. En este caso, se representó a cada solución como una permutación de n números enteros en el rango $[1, n]$. Más detalles sobre la implementación de este método puede ser encontrada en la Ayuda del software *Matlab* (MATLAB, 2015). Además, el lector interesado puede solicitar el código fuente de la implementación desarrollada, a cualquiera de los correos de los autores.

2. Análisis experimental

El propósito de los experimentos desarrollados en esta sección es validar esta propuesta en escenarios reales de aplicación. Concretamente, se han considerado tres escenarios relacionados con las unidades de aprendizaje Inglés III, II y I que se imparten respectivamente en las carreras Ingeniería en Contabilidad y Auditoría, Ingeniería Industrial, e Ingeniería Comercial, de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (Ecuador). Las principales características de estos escenarios se resumen en la Tabla 1. Adicionalmente, el Anexo 1 muestra los datos a nivel de estudiantes para el Escenario 1. Por razones de espacio se han omitido los correspondientes a los escenarios 2 y 3.

Tabla 1. Escenarios considerados en los experimentos.

Características	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Carrera	Ingeniería en Contabilidad y Auditoría	Ingeniería Industrial	Ingeniería Comercial
Unidad de aprendizaje	Inglés III	Inglés II	Inglés III
Número de estudiantes	30	55	80
	Reales (27)	Reales (53)	Reales (76)
	Ficticios* (3)	Ficticios* (2)	Ficticios* (4)
Número de integrantes por equipos	5	5	5
Número de equipos	6	11	16
Distribución de nivel general de habilidades (Speaking, Writting, Listening)	Alto (10)	Alto (20)	Alto (18)
	Medio (13)	Medio (25)	Medio (49)
	Bajo (4+3F)	Bajo (8+2F)	Bajo (9+4F)
Distribución del nivel socio-económico	Alto (14)	Alto (35)	Alto (64)
	Bajo (13+3F)	Bajo (18+2F)	Bajo (12+4F)
Distribución de la vinculación laboral	Sí (17)	Sí (27)	Sí (54)
	No (10+3F)	No (26+2F)	No (22+4F)
Distribución del sexo	Mujeres (23+3F)	Mujeres (11)	Mujeres (54+4F)
	Hombres (4)	Hombres (42+2F)	Hombres (22)
Distribución de liderazgo	Sí (5)	Sí (12)	Sí (16)
	No (22+3F)	No (41+2F)	No (60+4F)
Tamaño del espacio de búsqueda (número de soluciones a considerar)	$\approx 8.88 \times 10^{19}$	$\approx 1.71 \times 10^{50}$	$\approx 3.87 \times 10^{85}$

* Los estudiantes ficticios son introducidos para balancear la cantidad de integrantes por equipo. Su cantidad está representada con la letra F en el resto de las características.

En cuanto al método de solución empleado se consideró un total de 9 variantes de NSGA-II atendiendo a la combinación de dos de sus parámetros fundamentales: tamaño de la población (número de soluciones candidatas) y tasa de cruzamiento. Específicamente se valoraron las combinaciones que se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Variantes del algoritmo NSGA-II que se consideraron en los experimentos.

Variante del algoritmo NSGA-II	Población	Tasa de cruzamiento
NSGAI(5,0.3)	5×n*	0.3
NSGAI(5,0.6)	5×n	0.6
NSGAI(5,0.9)	5×n	0.9
NSGAI(10,0.3)	10×n	0.3
NSGAI(10,0.6)	10×n	0.6
NSGAI(10,0.9)	10×n	0.9
NSGAI(15,0.3)	15×n	0.3
NSGAI(15,0.6)	15×n	0.6
NSGAI(15,0.9)	15×n	0.9

* n indica la cantidad de estudiantes.

Para evaluar la calidad de las soluciones encontradas por las distintas variantes del algoritmo, se eligió como medida de convergencia el *promedio de la distancia mínima al frente de Pareto* (Talbi, 2009):

$$J_s = \frac{1}{\mu} \sum_{i=1}^{\mu} \min_{v \in S_{op}} (\|F(v) - F(x_i)\|_2) \quad (8)$$

Donde, S_{op} es el conjunto óptimo de Pareto del problema, mientras que x_i es el i-ésimo individuo del conjunto de Pareto obtenido por la variante s del algoritmo. Es importante notar que el objetivo de esta medida es promediar la menor distancia de las soluciones obtenidas por la configuración s y el frente óptimo $F(v)$. De manera que un valor bajo de esta medida implica un buen nivel de convergencia del algoritmo, hacia el mejor frente de Pareto conocido del problema. En la literatura relacionada existen múltiples alternativas para llevar a cabo este proceso de evaluación, pero se concluyó que la medida elegida es suficiente para los propósitos prácticos de la investigación, esto es, el de asistir al docente de manera sencilla. El lector interesado puede consultar los siguientes trabajos (Jiang,

Ong, Zhang, & Feng, 2014; Talbi, 2009), para profundizar más en el tema.

En general se realizaron 20 ejecuciones por cada par escenario y variante del algoritmo. Los experimentos fueron implementados sobre la tecnología Matlab 2015 (MATLAB, 2015).

3. Discusión de los resultados

Como se aprecia en la Tabla 1, los escenarios considerados

son de diferente complejidad (nótese la última fila de la Tabla 1, correspondiente al tamaño del espacio de búsqueda). Sin embargo, curiosamente en los tres escenarios las variantes del algoritmo NSGA-II obtuvieron una solución óptima. Estas se muestran en la Figura 1, los cuales representan los valores de las funciones objetivo de las respectivas soluciones óptimas, encontradas en cada escenario.

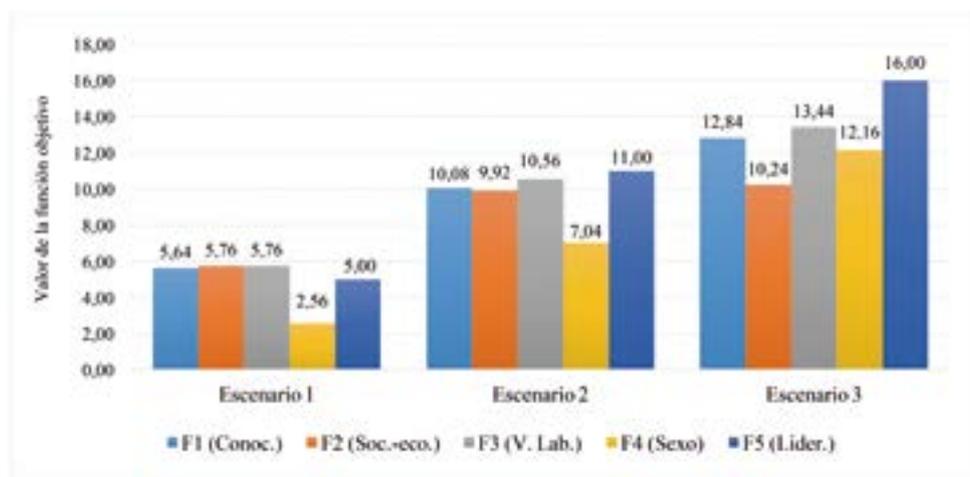


Figura 1. Mejor solución encontrada por todas las configuraciones del algoritmo NSGA-II en los todos los escenarios.

Obsérvese cómo en el caso del escenario los tres primeros indicadores (F1, F2, y F3) se acercan al valor óptimo 6. Un efecto contrario ocurre en el caso de los indicadores F4 y F5, para los que se incumple significativamente. Sin embargo, esto se debe a la estructura del escenario en sí. Por ejemplo, es importante recordar que en este escenario se deben confeccionar 6 equipos. De manera que 4 hombres resultarían insuficiente, incluso si se lograsen distribuir 1 por cada equipo. Por otro lado, se puede advertir que el valor del indicador F5 = 5 es realmente óptimo para el escenario, ya que se cuenta con tan solo 5 estudiantes con capacidad de liderazgo. En consecuencia, correspondería 1 estudiante líder por equipo, exceptuando uno. En otras palabras, es imposible que F5 = 6 y es óptimo cuando es igual a 5.

Para comprender la utilidad de las soluciones encontradas por los algoritmos considere la solución encontrada por el algoritmo en el Escenario 1. En este caso, en la Tabla 3 se muestran los equipos creados, correspondientes a la mejor solución del Escenario 1.

Tabla 3. Equipos de estudiantes creados según la mejor solución encontrada para el Escenario 1.

Equipo	Miembros (Estudiantes)				
1	Est.11	Est.12	Est.3	Est.10	Est.18
2	Est.17	Est.4	Est.13	Est.25	Est.2
3	Est.30	Est.26	Est.6	Est.15	Est.21
4	Est.7	Est.19	Est.24	Est.16	Est.23
5	Est.20	Est.5	Est.27	Est.14	Est.1
6	Est.29	Est.22	Est.8	Est.28	Est.9

Si se contrasta con la información que brinda el Anexo 1, se puede ver que los equipos exhiben una alta diversidad en los indicadores definidos. Por ejemplo, consideremos el Equipo 1 (primera fila de la Tabla 3), compuesto por los estudiantes 11, 12, 3, 10 y 18. En la tabla del Anexo 1 se han destacado en color amarillo las filas correspondientes a estos estudiantes. El lector puede observar fácilmente que el equipo está formado por una mezcla heterogénea de integrantes atendiendo a los indicadores considerados.

Por otro lado, es interesante destacar que para el caso del Escenario 3 ocurre algo ligeramente distinto

al resto de los escenarios. En lugar de obtenerse la misma solución por cada variante de algoritmo, estas obtienen resultados distintos. Obsérvese en ese sentido la Figura 2 que muestra los resultados obtenidos por las distintas variantes del algoritmo en términos promedio de la distancia mínima al

frente de Pareto. Como se aprecia, las variantes que emplean la mayor población (1200) poseen mejores resultados. Esto indica que el número de soluciones candidatas es un parámetro de gran influencia en el rendimiento del algoritmo NSGA-II, para el problema tratado.

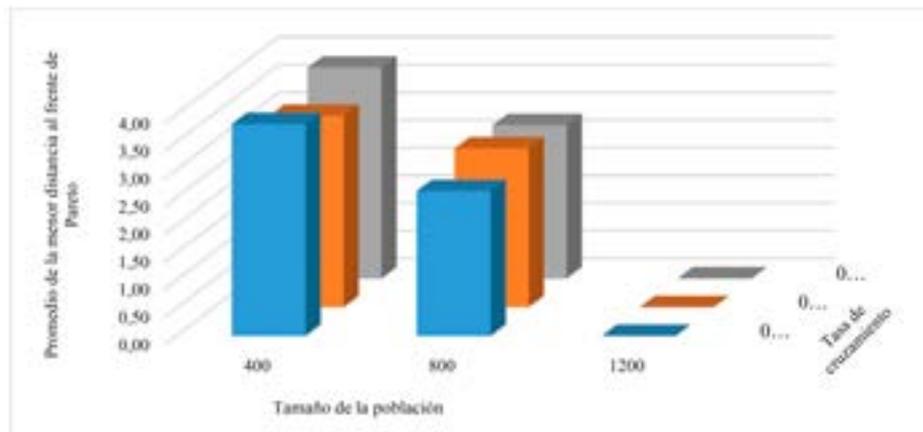


Figura 2. Resultados en términos del promedio de la menor distancia al frente de Pareto para distintas configuraciones de Tamaño de la población y Tasa de cruce del algoritmo NSGA-II en el Escenario 3.

III. CONCLUSIONES

En este trabajo se presentó una propuesta de automatización de una tarea común en el ámbito docente: la creación de equipos de trabajo de estudiantes. Como novedad se enfocó esta tarea como un problema de optimización multi-objetivo de tipo combinatorio, que fue resuelto por un método computacional basado en Dominancia de Pareto.

Los resultados preliminares, obtenidos a partir experimentos sobre escenarios reales relacionados con la Unidad de Aprendizaje de Inglés de la Universidad Estatal de Quevedo, indican que la propuesta resuelve eficazmente el problema. Especialmente, el problema es resuelto de manera efectiva por determinadas variantes del algoritmo NSGA-II. Estas variantes permiten encontrar soluciones de alta calidad en un tiempo razonable. Como beneficio adicional, el profesor podrá contar con varias alternativas óptimas para elegir. De manera que se puede concluir que el objetivo de la investigación se cumple.

Finalmente es importante decir que dicha propuesta se vislumbra como una herramienta útil al servicio del docente universitario. Los

trabajos futuros estarán orientados a dos líneas principales. Por un lado, la identificación métodos de solución alternativos al empleado, y por otro la informatización de la propuesta para hacerla más asequible al usuario final, esto es, al docente universitario.

IV. REFERENCIAS

- Ahmed, F., Jindal, A., & Deb, K. (2011). *Cricket team selection using evolutionary multi-objective optimization. Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)* (Vol. 7077 LNCS). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Boussaïd, I., Lepagnot, J., & Siarry, P. (2013). A survey on optimization metaheuristics. *Information Sciences*, 237, 82-117.
- Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., & Meyarivan, T. (2002). A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. *Evolutionary Computation, IEEE Transactions on*, 6(2), 182-197.
- Escalera Fariñas, K., Infante Abreu, A. L., André Ampuero, M., & Rosete Suárez, A. (2014). Uso

- de estrategias de paralelización en algoritmos metaheurísticos para la conformación de equipos de software. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 8(3), 90-99.
- Glinz, P. E. (2005). Un acercamiento al trabajo colaborativo. *Revista Iberoamericana de Educación*, 35(2), 1-13.
- Hughes, R. L., & Jones, S. K. (2011). Developing and assessing college student teamwork skills. *New Directions for Institutional Research*, 2011(149), 53-64.
- Jiang, S., Ong, Y.-S., Zhang, J., & Feng, L. (2014). Consistencies and Contradictions of Performance Metrics in Multiobjective Optimization. *Cybernetics, IEEE Transactions on*, 44(12), 2391-2404.
- MATLAB. (2015). *Version 8.5.0 (R2015b)*. Natick, Massachusetts: The MathWorks Inc.
- Mueller, J. H., Schuessler, K. F., & Costner, H. L. (1977). *Statistical Reasoning in Sociology*. Boston: Houghton Mifflin Company.
- Novoa-Hernández, P. (2015). Optimización evolutiva multi-objetivo en la planificación de controles a clase en la educación superior cubana. *Computación y Sistemas*, 19(2), 321-335.
- Novoa-Hernández, P., Novoa-Hernández, M. A., & Rivero-Peña, Y. (2013). Propuesta de técnicas evolutivas para la confección automática de tribunales de trabajos de diploma. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 7(4), 90-99.
- Pozo, J. I. & Pérez Echeverría, M. P. (coord.). (2009). *Psicología del aprendizaje universitario: la formación en competencias*. Madrid: Ediciones Morata.
- Rivero Peña, Y., Novoa-Hernández, P., & Fernández Ochoa, Y. (2015). La optimización evolutiva multi objetivo en la confección de equipos de desarrollo de software: una forma de lograr la calidad en el producto final. *Enfoque UTE*, 6(1), pp-35.
- Saadatseresht, M., Mansourian, A., & Taleai, M. (2009). Evacuation planning using multiobjective evolutionary optimization approach. *European Journal of Operational Research*, 198(1), 305-314.
- Saravanan, R., Ramabalan, S., Ebenezer, N. G. R., & Dharmaraja, C. (2009). Evolutionary multi criteria design optimization of robot grippers. *Applied Soft Computing Journal*, 9(1), 159-172.
- Shin, S.-Y., Lee, I.-H., Kim, D., & Zhang, B.-T. (2005). Multiobjective Evolutionary Optimization of DNA Sequences for Reliable DNA Computing. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 9(2), 143-158.
- Talbi, E. (2009). *From design to implementation*. Main (Vol. 2009). Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons.
- Teachman, J. D. (1980). Analysis of Population Diversity: Measures of Qualitative Variation. *Sociological Methods & Research*, 8(3), 341-362.
- UNESCO, & Delors, J. (1997). *La educación encierra un tesoro. Informe a la UNESCO de la Comisión Internacional sobre la educación para el siglo XXI, presidida por Jacques Delors. Educación y cultura para el nuevo milenio*. Correo de la UNESCO.
- Villacorta, P. J., Masegosa, A. D., Castellanos, D., Novoa, P., & Pelta, D. A. (2011). Sensitivity analysis in the scenario method: A multi-objective approach. En *Intelligent Systems Design and Applications (ISDA), 2011 11th International Conference on* (pp. 867-872).
- Wegener, I. (2005). *Complexity theory: exploring the limits of efficient algorithms*. Germany: Springer Berlin Heidelberg.
- Woźniak, P. (2011). Preferences in multi-objective evolutionary optimisation of electric motor speed control with hardware in the loop. *Applied Soft Computing*, 11(1), 49-55. <http://doi.org/10.1016/j.asoc.2009.10.015>
- Zhou, A., Qu, B.-Y., Li, H., Zhao, S.-Z., Suganthan, P. N., & Zhang, Q. (2011). Multiobjective evolutionary algorithms: A survey of the state of the art. *Swarm and Evolutionary Computation*, 1(1), 32-49.

Anexo 1. Información por estudiantes del Escenario 1

Estudiante	Nivel Conocimiento	Nivel socio-económico	Vínculo laboral	Sexo	Liderazgo
1	MEDIO	ALTO	SI	M	NO
2	BAJO	ALTO	SI	M	NO
3	BAJO	ALTO	NO	M	NO
4	ALTO	BAJO	NO	M	NO
5	MEDIO	BAJO	SI	M	SI
6	ALTO	ALTO	SI	M	NO
7	ALTO	ALTO	NO	M	NO
8	ALTO	ALTO	SI	M	SI
9	MEDIO	ALTO	SI	M	NO
10	ALTO	ALTO	NO	M	NO
11	ALTO	BAJO	SI	M	SI
12	MEDIO	BAJO	SI	H	NO
13	ALTO	ALTO	NO	H	SI
14	ALTO	ALTO	NO	H	NO
15	MEDIO	BAJO	SI	M	NO
16	BAJO	ALTO	SI	M	NO
17	MEDIO	BAJO	SI	M	NO
18	MEDIO	ALTO	SI	M	NO
19	MEDIO	BAJO	SI	M	SI
20	ALTO	BAJO	SI	M	NO
21	MEDIO	ALTO	NO	M	NO
22	MEDIO	ALTO	NO	H	NO
23	ALTO	BAJO	SI	M	SI
24	MEDIO	BAJO	NO	M	NO
25	MEDIO	BAJO	SI	M	NO
26	MEDIO	BAJO	SI	M	NO
27	BAJO	BAJO	NO	M	NO