

# *Tanziflex: Herramienta Software para la Resolución de Problemas de Programación Lineal*

Mariana Falco<sup>1</sup>, Ignacio J. Nuñez<sup>2</sup>, Lourdes Perea<sup>3</sup>, Ricardo Carlevari<sup>2</sup>, Federico Tanzi<sup>2</sup>

1 LIDTUA/CONICET, Universidad Austral,  
Mariano Acosta 1611, Pilar, Buenos Aires  
mfalco@austral.edu.ar

2 Facultad de Ingeniería, Universidad Austral,  
Mariano Acosta 1611, Pilar, Buenos Aires

3 LIDTUA, Facultad de Ingeniería, Universidad Austral,  
Mariano Acosta 1611, Pilar, Buenos Aires

**Resumen:** La resolución manual de los problemas de Programación Lineal (PL) incrementan su complejidad a medida que aumentan las variables. Sin dejar de lado que es sumamente importante que el alumno comprenda los conceptos debido a la elevada variabilidad de dominios de aplicación que tienen los ejercicios, en el presente artículo se introducirá una herramienta web intuitiva denominada Tanziflex, que permite resolver problemas de PL a través del algoritmo simplex. Dicha herramienta es útil de aplicar independientemente de si la carrera terciaria o universitaria donde se lo aplica presenta una base matemática fuerte o no. Se presentarán los resultados de un caso de estudio en el ámbito universitario y las líneas de trabajo futuro.

**Palabras clave:** Programación Lineal, Investigación Operativa, Software, Proceso de Enseñanza-Aprendizaje.

**Abstract:** The manual resolution of Linear Programming problems increases their complexity as the variables increase. Without leaving aside that it is extremely important that the student understands the concepts due to the high variability of application domains that the exercises have, in this article an intuitive web tool called Tanziflex will be introduced, which allows solving linear programming problems through of the simplex algorithm. This tool is useful to apply regardless of whether the tertiary or university career where it is applied has a strong mathematical basis or not. The results of a case study in the university environment and future work lines will be presented.

**Key words:** Linear Programming, Operational Research, Software, Teaching-Learning Process.

## 1. Introducción

La educación es una base importante y fundamental que posibilita el desarrollo de cualquier sociedad, principalmente de la sociedad del conocimiento que se caracteriza por el capital intelectual, el conocimiento, las habilidades y las destrezas cognitivas y sociales como materias primas, el conocimiento como capital fundamental, el trabajo colaborativo y cooperativo, entre otros [Murcia et al 16].

Las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TICs) fueron correctamente caracterizadas en [Falco 17] como ventanas de oportunidad, porque como bien planteó Castells [Castells 00] las tecnologías de la información son más que solo herramientas para aplicar, representan procesos que desarrollar.

Las TICs se han convertido en una herramienta para los individuos y la sociedad, potenciando habilidades

y destrezas para el acceso y el tratamiento de la información, rompiendo barreras, brindando nuevos medios de comunicación, y nuevas formas de estudiar y trabajar. Las TICs se encuentran relacionadas de una u otra forma con todas las áreas del conocimiento, lo que hace más que evidente su relación con el proceso de enseñanza-aprendizaje.

La incorporación de las tecnologías comenzó paso a paso, como la introducción de herramientas multimedia en el aula, a enviar mails, navegar en Chrome o subir entregas en Moodle. Pero, sin preverlo, las TICs han tenido un alto impacto en el ámbito educativo, porque ha permitido potenciar la virtualidad mediante diversos canales de comunicación como *m-learning* [Crompton 13] [Falco 16], donde se habla de aprendizaje a través de múltiples contextos, mediante las interacciones sociales y con el contenido; e incluso rediseñar los espacios de aprendizaje a través de modelos o tendencias emergentes como *blended learning*, que en su forma más simple, consiste en la integración de las experiencias de aprendizaje presencial en el aula con las experiencias de aprendizaje online [Garrison et al. 04].

Estos cambios fueron impulsados también en parte, de la misma manera, por los estudiantes del nuevo milenio o nativos digitales como los denomina Pedró, que conviven y son creativos con la tecnología, acostumbrados también al multitasking [Pedró 06]. Por ello, el aprendizaje puede ser considerado como una actividad social y la educación adquiere una dimensión cada vez mayor [Roque Alayón et al. 16].

En este contexto, donde el cuerpo de conocimientos referidos a las prácticas de la enseñanza están configuradas en relación con los fines [Litwin et al. 05], la integración de las TICs en la educación no solo conforma una oportunidad para revisar y transformar las prácticas educativas; sino como un paradigma tecnológico, basado en la flexibilidad y que tiene la capacidad de reconfigurarse [Castells 00]. Por ello, el docente debe cambiar su función para aplicar metodologías innovadoras que le brinden al estudiante herramientas y medios cuyo objetivo ulterior sea la integración de conocimientos previos con los nuevos.

Si bien han ocurrido diversos cambios como se ha mencionado en las estructuras, los espacios físicos [Lambert 12] [Schaffhauser 15] y los procesos de aprendizaje, existen sucesos vivos como la complejidad o dificultad que representa la comprensión de nuevos contenidos o la asimilación de los conceptos a la hora de realizar ejercicios; y son los actores los que van adecuando nuevas formas y técnicas para lograr disminuir dicha complejidad (con o sin tecnologías, claro está). Las tecnologías continúan brindando nuevas perspectivas y medios que permiten la visualización, trazabilidad y comprensión de los distintos tópicos y temáticas, en el aula o fuera de ella.

En Educación Superior, diversas carreras terciarias y universitarias incluyen asignaturas relacionadas con la Investigación Operativa, donde uno de los tópicos centrales es la Programación Lineal (PL) [Miranda 09]. Vale destacar que el conocimiento de los estudiantes del algoritmo del simplex es fundamental para el correcto análisis e interpretación de los resultados, pero a medida que aumenta la cantidad de variables resulta engorroso [Sabater 15] completar el cálculo, logrando un entendimiento fehaciente del proceso en general y de los resultados, en particular.

Consecuentemente, a medida que nos vamos acercando a modelar problemas de la vida real cada vez más complejos es necesaria la incorporación de herramientas software que permitan brindar un sostén que aumente la trazabilidad paso a paso del procedimiento, en pos de corroborar la resolución manual y efectivizar la resolución de los ejercicios.

En la actualidad, existen diversas herramientas software como Invop [invop], Microsoft Solver Excel [Fylstra et al 98], SSC (Software per il Calcolo del Simpleso) [SCC], LINDO [Schrage 84], entre otros. Continuando en las ideas iniciales, la tecnología avanza a la medida que los estudiantes presentan un mayor nivel de exigencia a la hora de aprender; por ello las herramientas tienen que ir progresando para que el nivel de usabilidad y portabilidad sea cada vez mayor.

El objetivo de este trabajo es presentar una herramienta prototipo web denominada Tanziflex que posibilita la resolución de problemas de programación lineal, y cuyas mayores ventajas son:

a) los usuarios no necesitan tener conocimientos previos ni matemáticos fuertes, lo que posibilita que cualquier estudiante independientemente de la carrera en que se encuentre pueda utilizar la plataforma, b) permite una trazabilidad fehaciente a la hora de resolver los ejercicios, c) es una plataforma web, y d) su diseño arquitectónico ha incluido tecnologías actuales y que permiten el mantenimiento en el tiempo.

El resto del artículo se estructura como sigue. En la sección 2, brindará un contexto de TICs en educación, junto con herramientas software para Investigación Operativa / Programación Lineal. En la sección 3, se definirá los aspectos funcionales y la base matemática y algorítmica de Tanziflex. En la sección 4, se presenta la descripción y los resultados del caso de estudio. En la sección 5 se presenta la discusión. Finalmente, en la sección 5 se presentan las conclusiones y el trabajo futuro.

## 2. Contexto: TICs en Educación

La Sociedad de la Información y del Conocimiento (SIC) surge de la combinación de los siguientes cuatro elementos: en primer lugar, la generación de conocimiento científico, luego, la transmisión de dicho conocimiento, en tercer lugar, su difusión en la que contribuyen las TICs, y finalmente, la explotación del conocimiento mediante la innovación tecnológica [De Pablos 2005] en [Martínez Clares et al. 16].

Las TICs son el conjunto de herramientas relacionadas con la transmisión, el procesamiento y el almacenamiento digitalizado de información [Sunkel 07], que han tenido un progreso acelerado en las últimas décadas del siglo pasado ya que a partir del acceso a grandes volúmenes de información, han revolucionado las formas en que los individuos acceden e interactúan con los contenidos [Falco 17].

Se han convertido en parte de nuestra cotidianeidad [Camargo 12], porque es el estar informado minuto a minuto, visualizar en Twitter el nuevo trailer de una película o buscar en YouTube videos con contenidos académicos para ver los procedimientos de resolución de ejercicios de diversos temas; permitiendo la comprensión de conceptos de diversas disciplinas y ciencias, y trabajar en equipo a través de documentos

compartidos online en Google Drive, son actividades usuales en la cotidianeidad.

Estos cambios han permitido identificar ciertas características de aquella cotidianeidad, como la naturaleza global de la sociedad, la importancia del conocimiento en pos de una determinar prosperidad y calidad de vida; la facilidad con que las tecnologías permiten el rápido intercambio de información. Ahora bien, la SIC conlleva transformaciones que en su mayoría son derivadas de las TICs [Martínez Clares et al. 16]. En este contexto, el ámbito educativo se ha visto impactado por dichos cambios permitiendo su incorporación y promoción.

En este contexto, los avances demandan otros cambios, nuevos métodos de enseñar y nuevas formas de aprender [Martínez Clares et al. 16]; y por ello las demandas se condensan en la evaluación de aprendizajes, el desarrollo de nuevas herramientas para enseñar-aprender, la utilización de las TICs, la gestión de aprendizajes, la tutoría y la atención a la diversidad [García Aretio 12]. Recordando los diversos modelos mencionados en la introducción, la idea del aprendizaje ubicuo consiste en que el aprendizaje se transforma en una proposición de tiempo y lugar, y que por ello, los procesos de aprendizaje se encuentran más integrados al flujo de tareas y relaciones diarias; permitiendo un modo más social de aprender [Burbules 14].

Las tecnologías de la información se aplican al campo pedagógico con el objeto de racionalizar los procesos educativos, mejorando los resultados del sistema educativo y buscando el aseguramiento del acceso a las mismas de grupos convencionalmente excluidos. Consecuentemente, las TICs en su incorporación al ámbito educativo promueven la creación de nuevos entornos didácticos que inciden directamente tanto en los docentes y los alumnos como en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

De esta manera, las tecnologías deben ser aprovechadas como herramientas de ayuda dentro del ámbito educativo porque permiten alcanzar un mayor número de personas, flexibilizando los procesos y buscando adaptarse a las necesidades de los estudiantes. El uso de las tecnologías en la educación tiene también la finalidad de desarrollar las

capacidades cognitivas del individuo y promover el trabajo colaborativo [Falco et al. 2016].

Tanto los componentes hardware como las herramientas software deben evolucionar al mismo tiempo que lo hace la tecnología que les da sustento. Por lo cual, es sumamente importante que la actualización de las herramientas software sea capaz de acompañar los avances tecnológicos y soportar las demandas de la sociedad en general, y de los usuarios y los aprendices del nuevo milenio, en particular.

### **2.1. Investigación Operativa en el Aula: Herramientas Software**

La Investigación de Operaciones o Investigación Operativa (IO) surgió en los albores de la Segunda Guerra Mundial, cuando se encomendó a un grupo de científicos ingleses la toma de decisiones sobre la mejor utilización de materiales bélicos. Al terminar la guerra, las ideas fueron adaptadas para mejorar la productividad en el sector civil [Taha 04]. En la actualidad, IO es una herramienta que posibilita la toma de decisiones en pos de la resolución de una gran cantidad de problemas de la vida real como el planeamiento y la programación de la producción, el transporte, la asignación, la evaluación de inversiones, la programación de turnos de trabajo, la minimización de desperdicios, la secuenciación de tareas, entre otros [Bermúdez Colina 11].

Dentro de IO no existe una única técnica de resolución de problemas, por lo que la naturaleza del método de solución viene determinada por la clase y complejidad del modelo matemático. La técnica más importante de IO es la PL que posee la particularidad de que la relación entre las variables es de tipo lineal [Miranda 03], y se ocupa de la optimización y el control de los sistemas, modelando situaciones de la vida real a través de variables, parámetros y relaciones funcionales. Existen otras técnicas como la programación entera, dinámica, de red, y no lineal.

Los problemas de PL pueden ser resueltos manualmente tanto por diversos métodos, como el gráfico y el algoritmo simplex, siempre y cuando la cantidad de variables sea relativamente pequeña. Como mencionamos en la introducción, cuanto más nos acercamos al objetivo de modelar y resolver un problema de la vida real, mayor es el número de variables y por lo tanto, la resolución toma más

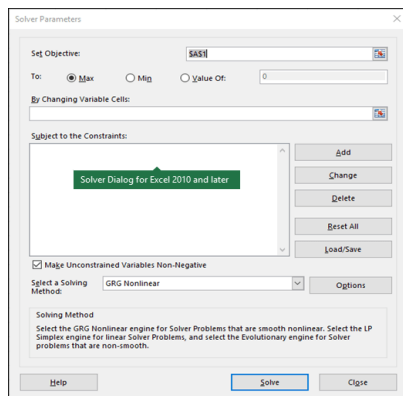
tiempo, como así también el entendimiento de la problemática planteada.

Los progresos tecnológicos y su aplicación en el ámbito educativo han posibilitado el desarrollo de un gran número de herramientas software que sirven como medio para abordar diversos contenidos dentro de las diferentes disciplinas, materias y carreras; buscando que los alumnos se involucren activamente y participen íntegramente en el proceso de aprendizaje [Falco 17].

En el proceso de enseñanza-aprendizaje, una problemática habitual es lograr que los contenidos que se quieren transmitir puedan ser absorbidos de forma comprensible, independientemente del método que se utilice. En la literatura, diversos autores han desarrollado herramientas para la resolución de problemas de programación lineal creadas o no con el objetivo de ser utilizadas en el ámbito educativo como soporte para el proceso de enseñanza aprendizaje, mostrando los cambios en lo que respecta a la forma, por un lado, de abordar la enseñanza, y por el otro, de presentar los contenidos a los estudiantes.

En este contexto, existen diversas herramientas software que permiten la resolución de problemas de PL como por ejemplo LINDO [Schrage 84] que es una herramienta robusta, que debe descargarse y cuya API se encuentra en la versión 11. Permite resolver problemas complejos con grandes cantidades de variables y realizar análisis paramétricos y de sensibilidad. El costo de la versión completa de LINDO es oneroso, pero permite descargar una versión trial con un número restringido de funcionalidades.

Luego, Solver es un add-in en Microsoft Excel [Fylstra et al. 98] como puede verse en la Fig. 1, que permite hallar el valor óptimo para una celda objetivo, sujeta a restricciones en los valores de otras celdas de fórmula en la planilla de cálculo. Solver trabaja con un grupo de celdas, llamadas variables de decisión que se usan para calcular las fórmulas en las celdas de objetivo y restricción.



**Figura 1.** Definición y Resolución de un problema en Solver [Office]

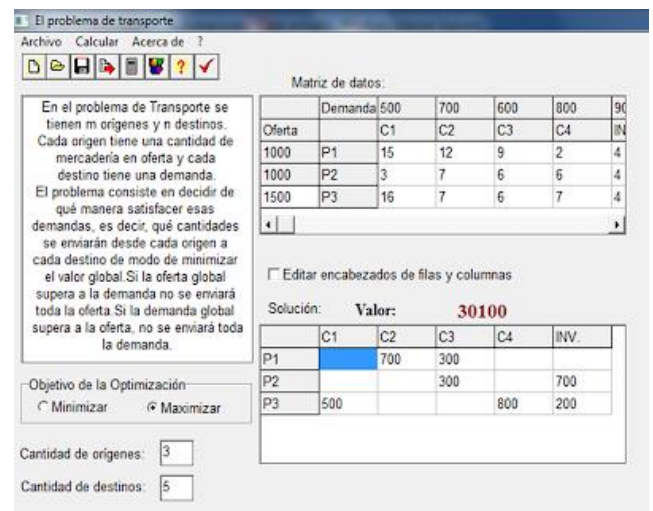
De esta manera, la herramienta ajusta los valores en las celdas de las variables de decisión para satisfacer los límites en las celdas de restricciones y producir el resultado que desea para la celda objetivo. Por ello, la mayor ventaja es el uso de la hoja de cálculo del paquete Office (considerando que a Mayo 2017, 500 millones de personas ya usaban Windows 10 [Sheer 17]) mientras que su mayor problema es el tamaño de matriz.

Algunos autores abordaron la problemática existente en la solución gráfica de un ejercicio de PL, con respecto al tiempo que se le puede dedicar en el aula a este tipo de ejercicios y graficar es complejo en el pizarrón. Por ello, Fernández y otros [Fernández et al 06] han presentado una herramienta software cuya mayor ventaja es que muestra gráficamente el procedimiento algorítmico de resolución. La aplicación presentada ha sido desarrollada en el entorno JDeveloper 9.0.3 para los sistemas operativos Windows 2000, Windows XP y Linux.



**Figura 2.** Herramienta gráfica para algoritmo simplex [Fernández et al 06]

Existe también la herramienta INVOP [Invop] que nació orientado a la enseñanza de PL, y permite resolver problemas de asignación, transporte (ver Fig. 3), distancia, y flujo máximo en una red. Es una de las herramientas clásicas de trabajo en el aula como complemento de las clases, pero desafortunadamente su mayor desventaja es que solo corre en sistemas de 32 bits por lo que se si quiere utilizarlo es necesario levantar una máquina virtual y correrlo allí.



**Figura 3.** Presentación de carga de un ejercicio de transporte [invop]

Ahora bien, SSC [SSC] es una librería java, que resuelve problemas de programación entera. Como Tanziflex, la herramienta aquí presentada, utiliza el algoritmo simplex para resolver estos tipos de problemas de optimización. Vale destacar que pueden resolverse problemas con variables enteras, binarias y semicontinuas. Esta subclase de problemas se suele nombrar como programación lineal de entera-mixta, los cuales tienen todas o parte de variables enteras o binarias o semicontinuas, y SSC utiliza el algoritmo de Branch y Bound (B & B) para su resolución.



**Figura 4.** Resultado de ejecución del modelo [Bastos et al 15]

De la misma manera, OptiLiAna también fue creado para disminuir la complejidad del aprendizaje de PL y es un aplicativo desarrollado en Java, y que presenta un menú principal a través del cual se puede acceder al ambiente de resolución de problemas o acceso a la apertura de archivos, edición de datos y ejecución de las funciones [Bastos et al. 15]. La Figura 4 muestra la resolución de un ejercicio de maximización en PL. No se han encontrado detalles sobre el o los sistemas operativos en los cuales puede correrse.

Las herramientas enriquecen el aula al incorporar tecnología que permiten adaptarse a las características de los estudiantes, elevando la calidad del proceso educativo [Rodríguez 15]. En reglas generales y a modo de resumen, es viable mencionar que del análisis realizado no todas las herramientas soportan matrices de gran tamaño, que la tecnología no siempre está actualizada o requiere de varios pasos previos para correrlo como INVOP, tienden a requerir conocimientos previos sobre modelización, y son aplicativos que deben descargarse e instalarse. Por ello, se ha desarrollado Tanziflex una plataforma web que permite la resolución de problemas de PL (como transporte y asignación), y cualquier problema genérico que pueda resolverse mediante el algoritmo simplex.

### 3. Tanziflex: Descripción Funcional y Matemática

Un buen software debe permitir la reconstrucción del error para el análisis, potenciando nuevas formas de

pensamiento y poniendo en marcha procesos de comprensión de la problemática analizada en el software. Teniendo en cuenta estos preceptos se ha desarrollado Tanziflex (ver landing page en Fig. 5).



**Figura 5.** Landing page de Tanziflex

Tanziflex es una herramienta web cuyo objetivo es la resolución de problemas de PL, trabajando con variables continuas, enteras, binarias, o una combinación de las anteriores, a través del algoritmo simplex y el método de dos fases. Fue diseñado para facilitar el aprendizaje y la resolución de problemas de PL, pudiendo ser utilizado por personas sin conocimiento específico de modelización, y facilitando el trabajo de hacerlo para aquellos que sí lo tienen.

Fue desarrollada en Scala, que es un lenguaje de programación alto nivel multi-paradigma, que combina características de los lenguajes funcionales y de los lenguajes orientados a objetos. Scala permite expresar patrones de diseño en una forma elegante pero concisa, que extiende al procesamiento de data XML. Es un lenguaje funcional, en el sentido de que cada función es un valor. Todas estas características, más la extensibilidad y la interoperabilidad fueron la base para la elección del lenguaje.

En lo que respecta a la arquitectura, el sistema cuenta con una API REST, que posibilita la separación de la interfaz de usuario del servidor y el almacenamiento de datos. La herramienta fue desarrollada por alumnos de la carrera de Ingeniería en Informática de la Universidad Austral en el contexto de la materia Investigación Operativa. Esa experiencia fue sumamente enriquecedora para los alumnos involucrados, permitiendo incorporar y dominar el algoritmo del simplex, integrándolo a su vez con su formación específica de la carrera a través del desarrollo del software.

Mediante el desarrollo de la herramienta se buscó lograr una interfaz intuitiva para determinados tipos de problemas, guiando la carga de datos del problema sin necesidad de plantear el modelo matemático. Funciona tanto en su versión web en cualquier browser y en distintos dispositivos, como notebooks y smartphones. A diferencia de la mayoría de las herramientas, no es necesario descargar Tanziflex. En las próximas subsecciones, se describirá la base matemática que da sustento a la herramienta y el modelo de resolución de problemas.

### 3.1. Describiendo la base matemática

Para describir el problema que se pretende solucionar, la programación lineal genera un tipo de modelo que es un conjunto de expresiones matemáticas que pueden ser planteados como se muestra a continuación [Salazar et al. 11]:

Función objetivo  $Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$

sujeto a:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2$$

....

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m$$

$$x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0$$

El vector  $c$  cuyas componentes son los  $c_i$  con  $i = 1, 2, 3, \dots, n$ , se denomina vector de costos y el vector de decisión  $x$  de componentes  $x_i$  con  $i = 1, 2, 3, \dots, n$ , representan las variables de decisión del modelo. La columna posterior a las desigualdades recibe el nombre de vector  $b$  o vector del lado derecho y representa la disponibilidad de los recursos. Las primeras  $m$  restricciones (aquellas del tipo  $a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n$ ) reciben el nombre de restricciones funcionales, pudiendo ser del tipo mayor o igual ( $\geq$ ), menor o igual ( $\leq$ ), igual ( $=$ ) [Arreola et al 03].

El modelo debe cumplir las siguientes condiciones:

1. El objetivo consistirá en optimizar el valor de la función objetivo (obtener el valor óptimo mayor - maximizar, u obtener el valor óptimo menor - minimizar).

2. Todas las restricciones deben ser ecuaciones de igualdad (identidades matemáticas).

3. Todas las variables ( $x_i$ ) deben tener valor positivo o nulo (condición de no negatividad).

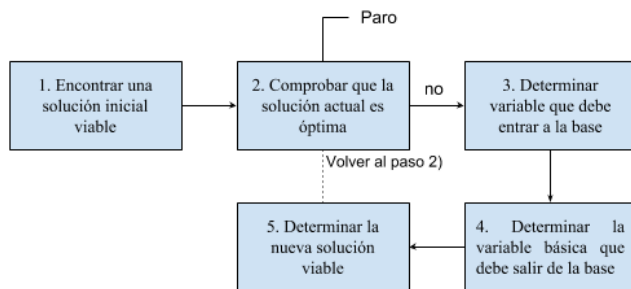
4. Los términos independientes ( $b_i$ ) de cada ecuación deben ser no negativos.

Teniendo como base lo anterior, existen dos formas de plantear un modelo de PL. En la primera, conocida como forma canónica, las restricciones son del tipo menor o igual y las variables son no negativas; mientras que en la segunda denominada forma estándar, las restricciones están expresadas en forma de iguales y las variables son no negativas.

### 3.2. Algoritmo simplex

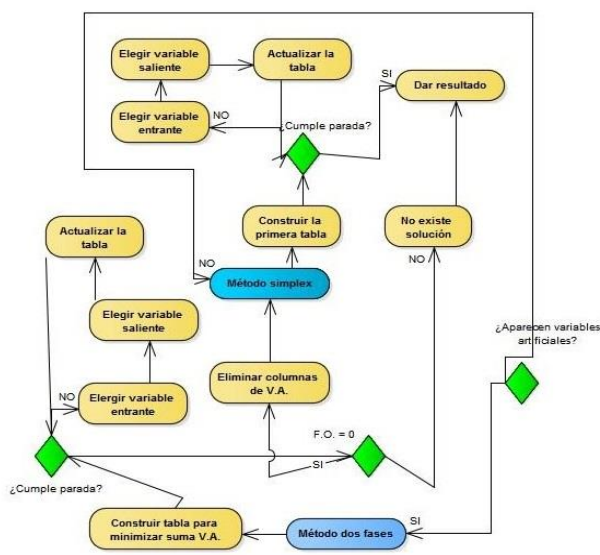
Es viable destacar que una peculiaridad de las técnicas de IO es que las soluciones se determinan a partir de algoritmos, que permite en cada iteración obtener una solución más cercana al óptimo. La forma estándar mencionado en el párrafo anterior, puede resolverse mediante el método o algoritmo simplex [Bazaraa 99]. Remontándonos más de 60 años atrás, Dantzig [Dantzig et al. 53] fue el primero en crear una técnica automática que posibilitaba la resolución de problemas con constantes lineales y una función objetivo.

Los avances tecnológicos y computacionales han permitido alcanzar una implementación del método simplex a través de un modelo con 71 variables y 48 constantes, que tomó al menos 18 horas para resolverse. Si bien parece un modelo relativamente pequeño en la era tecnológica en la que nos hallamos, ese suceso ha sido considerado un hito en aquella época que permitió resolver un problema práctico. Es viable mencionar que el método simplex es una técnica que permite determinar algebraicamente la solución óptima del modelo [Puccini et al 87]. Si el modelo tiene una solución, este método va a encontrarla realizando sucesivas iteraciones siguiendo los pasos evidenciados en la Fig. 6 [Bastos et al 14].



**Figura 6.** Pasos del algoritmo simplex (adaptación de [Bastos et al 14])

Consecuentemente, el método Simplex consiste en determinar una solución viable que será iterativamente mejorada, siendo que esta mejora se realizará alterando los valores de las variables del problema. Ahora bien, Tanziflex aplica el algoritmo simplex (Fig. 6 y 7) y el método de dos fases (Fig. 7), que se utiliza en el caso de que aparezcan variables artificiales en la forma canónica o estándar del problema; donde la primera fase trata de resolver el problema auxiliar  $Z'$  de minimizar la suma de las variables artificiales para que sea cero y así evitar incongruencias matemáticas.



**Figura 7.** Modelo solución para método simplex y dos fases (adaptación de [phpsimplex])

Si el resultado es el esperado, una vez resuelto este primer problema, es posible reorganizar la tabla resultante para utilizarla en la segunda fase sobre el problema original. La segunda fase es exactamente

igual que el simplex, pero antes de iterar es necesario eliminar las columnas correspondientes a las variables artificiales, y reconstruir la tabla inicial. En la Fig. 7 es viable observar el modelo de solución para el método simplex y el método de dos fases aplicado en Tanziflex.

En lo que se refiere a la preparación del modelo, en Tanziflex todas las restricciones deben ser ecuaciones de igualdad que pueden ingresarse como desigualdades, por lo que el sistema convierte las restricciones de desigualdad o inecuaciones en dichas identidades matemáticas a través de la normalización. Vale destacar por tanto, que es viable la identificación de soluciones óptimas, infinitas soluciones, soluciones ilimitadas y sin solución (caso en que ningún punto satisface todas las restricciones del problema). Con el objetivo de comenzar con las pruebas con estudiantes en Educación Superior, la sección siguiente describe el caso de estudio y los resultados obtenidos.

#### 4. Caso de estudio

El presente caso de estudio se contextualiza en dos comisiones de 32 y 34 alumnos universitarios, a quienes se les consignó la resolución de 10 ejercicios de programación lineal en un lapso de dos clases, 5 de asignación y 5 de transporte, con 5 grados de complejidad crecientes del primero al último. Los docentes computaron el tiempo que les tomaba la resolución manual de los ejercicios. Para los primeros dos ejercicios tanto de asignación como de transporte le tomó entre 45 minutos y una hora, para el tercero hora y media; para el cuarto y quinto entre dos horas y media y tres horas.

Luego, los docentes hicieron revisión de los resultados obtenidos y, en general, fueron positivos, el 76% de los estudiantes de una comisión y el 82% de la segunda, resolvieron correctamente más de 6 ejercicios. Los porcentajes restantes resolvieron menos de 6 ejercicios exitosamente. Si bien el tiempo que les tomó a los estudiantes resolver los ejercicios es alto, la práctica hace al maestro.

Por ello era fundamental que antes de introducir la herramienta, los resuelvan manualmente para fehacientemente lograr la comprensión de los problemas a través de una correcta extracción de



datos, formulación de funciones e identificación de variables. En la próxima subsección se visualizará uno de los ejercicios con el cual los alumnos han trabajado y la correspondiente carga en Tanziflex.

Ahora bien, es importante comprender las fases de estudio de un problema de programación lineal (PL) para vislumbrar la metodología aplicada a la resolución de una problemática en particular con los estudiantes [Taha 04]. De esta manera, la fase I (definición del problema) define el alcance del problema y permite describir las alternativas de decisión y el objetivo del análisis, mientras que la fase II (construcción del modelo) posibilita la traducción del problema a relaciones matemáticas.

Luego, la fase III (solución del modelo) permite la utilización de algoritmos para la optimización. La fase IV (validación del modelo) permite determinar si los resultados tienen validez para el problema planteado. Finalmente, la fase V (implementación de la solución) implica volcar los resultados al problema real para que las personas involucradas obtengan los valores concretos. Particularmente, Tanziflex aborda la fase III a través del algoritmo simplex.

#### 4.1. Carga y Resolución de un Ejercicio en la Herramienta

**Enunciado de asignación:** La directora de un centro educativo debe asignar la docencia de 4 asignaturas, A1, A2, A3, A4 a 4 profesores, P1, P2, P3 y P4 teniendo en cuenta las valoraciones de las encuestas hechas por los alumnos y unas restricciones impuestas por un nuevo reglamento. En base a las encuestas de años anteriores, se tienen las siguientes valoraciones promedios para los cuatro profesores y las cuatro asignaturas (ver Fig. 9). En particular, se quiere obtener la asignación que maximizar la valoración media total.

**Interacción con la herramienta:** al ingresar a la página de landing que presenta la herramienta, los alumnos pueden seleccionar realizar un ejercicio de asignación, un ejercicio de transporte o cualquier ejercicio de PL cargando las restricciones para dicho ejercicios. La herramienta les presenta una breve descripción del objetivo del ejercicio, que también pueden ver pero con mayor detalle al seleccionar el ejercicio que buscan resolver. Particularmente,

seleccionaron el ejercicio de asignación que trabaja con variables binarias (ver Fig. 8). Es viable mencionar que si fuera el caso de querer resolver un ejercicio con precondiciones como el profesor 1 no puede dictar la asignatura 3 debe utilizarse la opción de “otros ejercicios de PL” para configurar dicha restricción y resolverlo por el método simplex.



**Figura 8.** Selección del tipo de ejercicio en la herramienta

Una vez elegido el tipo de ejercicio, Tanziflex despliega una pantalla con la carga de datos que permite en primer lugar determinar el tamaño de la matriz (en este caso: 4 profesores a 4 asignaturas), a partir de lo cual es necesario especificar el objetivo del problema (minimización o maximización). En este caso, se busca minimizar el tiempo de preparación total. Luego, se pasa a cargar los datos propios del ejercicio, como puede verse en la Fig. 8.

profesor a asignatura	asignatura 1	asignatura 2	asignatura 3	asignatura 4
profesor 1	2.7	2	3.2	2.6
profesor 2	2.2	3.6	3.8	2.5
profesor 3	3.4	3.4	2.3	1.8
profesor 4	2.8	2.8	1.9	4.2

**Figura 9.** Carga de datos en la herramienta

Siguiendo la figura 9, es viable mencionar que los nombres de los profesores y asignaturas pueden ser modificados haciendo más real el problema, cambiando por ejemplo “Asignatura 1” por “Análisis Matemático”, y el espacio del label se adaptará al mismo. Una vez cargada la matriz, se debe presionar el botón resolver, que aparecerá al pasar el mouse

sobre el extremo inferior derecho de la matriz; o el botón reset que limpiará todas las celdas con datos cargados previamente. Una vez presionado el botón, Tanziflex muestra los resultados como se observa en la Fig. 10.

## Variables Finales

asignatura a profesor	asignatura 1	asignatura 2	asignatura 3	asignatura 4
profesor 1	0	1	0	0
profesor 2	1	0	0	0
profesor 3	0	0	0	1
profesor 4	0	0	1	0

**Figura 10.** Variables finales del ejercicio

**Resolución del ejercicio:** En base a la Fig. 10, es viable comprender que como el problema de asignación trabaja con variables binarias los 0 y 1 representan la asignación o no de un profesor a una materia. Particularmente, el profesor 1 dictará la asignatura 2, el profesor 2 dictará la asignatura 1, el profesor 3 la asignatura 4 y el profesor 4 la asignatura 3.

## 5. Discusión

Tanziflex es una herramienta web que permite resolver problemas de programación lineal. Si bien en la literatura, existen diversas herramientas para IO/PL que tienen trayectoria en su utilización en el ámbito educativo, la principal ventaja de la herramienta aquí presentada es que es una plataforma web por lo cual no es necesario descargar un archivo .exe, instalarlo y luego correr la aplicación; sino que directamente puede accederse por una URL (que pronto estará disponible para el acceso de cualquier persona). Corre para todos los browsers (Chrome, Firefox, iOS y Microsoft Edge), y en su versión mobile.

De la misma manera, otra ventaja es que no es requerimiento previo tener conocimientos sobre modelización de problemas ni bases matemáticas fuertes. Se buscó desarrollar una interfaz intuitiva que

guíe en la carga y resolución de un ejercicio, para brindar el acceso a cualquier persona que necesite resolver un ejercicio de PL – considerando que mediante PL es viable modelar problemas de la vida real y tomar decisiones con una base consistente.

Tanziflex resuelve problemas con variables continuas, enteras, binarias, o una combinación de ellas, mediante el algoritmo simplex. Se realizaron pruebas de estrés en pos de validar y verificar atributos de calidad de la herramienta como escalabilidad, fiabilidad y uso de recursos. Soportó incrementos de tamaños de matrices de hasta 25x25, sin mostrar issues ni delays en el almacenamiento intermedio de valores (carga de un problema), adaptación de UI, resolución del problema y visualización de las matrices resultantes en el método de dos fases.

Se prevé continuar con los test de estrés para disminuir el problema de delay en el cómputo con matrices muy grandes (mayor a 35x35). De la misma manera, se realizarán nuevos testeos de usabilidad con nuevos grupos de usuarios reales con y sin conocimientos de matemática para que continúen brindando feedback con respecto al maquetado de la herramienta y los resultados, que ya ha tenido cambios con feedback previos de estudiantes y docentes. También se realizarán pruebas con docentes para determinar la viabilidad de la herramienta desde el punto de vista de aquellos que enseñan PL e IO.

## 6. Conclusiones

Un gran aporte tecnológico fue la aplicación del software educativo, definido como aquel programa de computadora que ha sido creado con la finalidad específica de ser utilizado como un medio didáctico que facilita el proceso de aprendizaje a través de la formación de un ambiente propicio para construir conocimiento [Graells 95]. Es decir, que desempeña funciones educativas [Galvis 97]. En el presente artículo, se introdujo Tanziflex una herramienta para resolver problemas de PL. Se describió la misma y se planteó un caso de estudio donde dos comisiones de 32 y 34 alumnos universitarios debieron resolver ejercicios habiéndolos previamente tenido que resolver manualmente.

El tiempo que les tomó la resolución manual (entre 45 minutos y tres horas) pudo reducirse a la mitad con la resolución del ejercicio cargado en Tanziflex. Pero es fundamental comprender que no estamos proponiendo un reemplazo de las formas y los métodos al resolver problemas de PL sino al contrario, afirmamos que es necesario que el alumno resuelva manualmente los problemas, y que tenga que enfrentarse a entender y representar el modelo a partir de una descripción; y que luego utilice la herramienta como un medio de agilización.

Otro punto a destacar es que mediante Tanziflex se buscó que la interfaz sea intuitiva, que haya una trazabilidad fluida para el alumno a la hora de realizar los ejercicios. Los demandas de la sociedad y el aprendizaje ubicuo han permitido que los muros entre el aprendizaje formal e informal comiencen a disminuir, brindando un marco de referencia que está más enfocado en las necesidades, intereses y motivaciones del estudiante [Burbules 14].

La motivación es fundamental a la hora de intentar resolver un problema, si a esto le sumamos una herramienta con complejidades asociadas a un nivel de usabilidad bajo y poco comprensible, peores resultados se obtendrán. Por ello, es importante entender que el potencial de las tecnologías radica en la inserción de las TICs en los contextos educativos con el fin de brindar beneficios para el sistema educativo en su conjunto: alumnos, docentes y la comunidad educativa en general.

Y es este contexto el que justamente ha llevado a la creación de las Tecnologías del Aprendizaje y del Conocimiento (TACs), que son aquellas que hacen uso de las TICs como herramienta formativa e incluyendo la tecnología en las planificaciones educativas. Como trabajo futuro se prevé incorporar otros ejercicios de programación lineal, junto con el agregado de la aplicación en un mayor número de casos reales como se comentaba en la Discusión.

### Agradecimientos

Los autores agradecen a Sirius Systems, start up incubada en la Facultad de Ingeniería, Universidad Austral, quien ha brindado soporte al diseño, desarrollo y mantenimiento de Tanziflex.

### Referencias

- [Arreola et al 03] J. Arreola, A. Arreola. “Programación Lineal: una introducción a la toma de decisiones cuantitativa”. Cengage Learning Editores. México DF. (2003).
- [Bastos et al. 15] M. Bastos, C. F. da Silva, M. Van Vessen Jr. “OptiLiAna–Um aplicativo para resolução de problemas de Programação Linear”. Anais SULCOMP, 7. (2015).
- [Bazaraa 99] M. Bazaraa. “Programación lineal y flujo de redes”. Segunda edición. Editorial imusa. México DF. 1999.
- [Bermúdez Colina 11] Y. Bermúdez Colina. “Aplicaciones de programación lineal, entera y mixta”. Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias, (7). (2011).
- [Burbules 14] N. C. Burbules. “El aprendizaje ubicuo: nuevos contextos, nuevos procesos”. Entramados: educación y sociedad, 1(1), 131-134. (2014).
- [Camargo 12] S.R.M. Camargo. Globalización y Tecnologías de la Información y la Comunicación. Editorial Académica Española. (2012)
- [Castells 00] M. Castells. La sociedad Red. Vol. I: La Era de la información: economía, sociedad y cultura. Madrid: Alianza. (2000).
- [Crompton 13] H. Crompton, "A historical overview of mobile learning: Toward learner-centered education". In Z. L. Berge & L. Y. Muilenburg (Eds.), Handbook of mobile learning (pp. 3–14). Florence, KY: Routledge. (2013).
- [Dantzing et al. 53] G. B. Dantzig, W. Orchard-Hays. Notes on linear programming: part V –alternate algorithm for the revised simplex method using product form of the inverse. TM-1268, The RAND Corporation, Santa Monica, CA. (1953).
- [Office] Define and solve a problem by using Solver (s.f.) <https://support.office.com/en-us/article/define-and-solve-a-problem-by-using-solver-5d1a388f-079d-43ac-a7eb-f63e45925040>, último acceso: 18/05/2018
- [De Pablos 05] J. De Pablos. “El EEES y las TICs. Percepciones y demandas del profesorado”. Revista de Educación, 337, 99-124. (2005).

- [Falco et al. 16] M. Falco, A. Kuz. “Comprendiendo el Aprendizaje a través de las Neurociencias, con el entrelazado de las TICs en Educación”. Revista TE & ET, 2016.
- [Falco 16] M. Falco. “m-Learning: Estudiantes móviles”, 4º Congreso Nacional de Ingeniería Informática / Sistemas de Información (CoNaIISI 2016). Universidad Católica de Salta (UCASAL). 17 y 18 de Noviembre. Salta, Argentina, 2016.
- [Falco 17] M. Falco. “Reconsiderando las prácticas educativas: TICs en el proceso de enseñanza-aprendizaje”. Tendencias pedagógicas. (2017).
- [Fernández et al 06] V. Fernández, I. Urdangarin, A. Zelaia. “Herramienta gráfica para el aprendizaje del algoritmo simplex”. Actas de las XII Jornadas de Enseñanza Universitaria de la Informática, JENUI, 531-535, (2006).
- [Fylstra et al 98] D. Fylstra, L. Lasdon, J. Watson, A. Waren. “Design and use of the Microsoft Excel Solver”. Interfaces, 28(5), 29-55, (1998).
- [Galvis 97] Galvis “Ingeniería de software educativo”. Colección Biblioclase. Universidad de Los Andes. (1997)
- [García Aretio 12] L. García Aretio. (Ed.) Sociedad del conocimiento y educación. Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia. (2012).
- [García Sabater et al 15] J. P. García Sabater, J. Maheut. Modelado y Resolución de Problemas de Organización Industrial mediante Programación Matemática Lineal. [Documento en línea]. Disponible en: <http://personales.upv.es/jpgarcia/LinkedDocument/s/modeladomatematico.pdf>. (2015).
- [Garrison et al 04] D. R. Garrison, H. Kanuka. “Blended learning: Uncovering its transformative potential in higher education”. The internet and higher education, 7(2), 95-105. (2004).
- [Graells 95] P. M. Graells, “Software educativo: guía de uso y metodología de diseño”. Editorial Estel. (1995).
- [invop] InvOp <http://operativa.tripod.com/invop/Invop.html>, último acceso: 18/05/2018
- [ido 11] Investigación de operaciones, (30/11/2011) Ejemplos de transporte - Invop, <http://aydeebocanegra.blogspot.com.ar/2011/11/ejemplos-de-transporte-invop.html>, último acceso: 18/05/2018
- [Lambert 12] C. Lambert. (2012, Marzo-Abril). Twilight of the Lecture. Retrieved Julio 04, 2016, from Harvard Magazine: <http://harvardmagazine.com/2012/03/twilight-of-the-lecture>.
- [Litwin et al 95] E. Litwin, M. Libedinsky. “Tecnología educativa: política, historias, propuestas. Cuestiones de Educación”. Madrid: Paidós. (1995).
- [Martínez Clares et al 16] P. Martínez Clares, J. Pérez Cusó, M. Martínez Juárez. “Las TICs y el entorno virtual para la tutoría universitaria”. Educación XX1, 19(1). (2016).
- [Miranda 03] M. Miranda. “Programación Lineal y su entorno”. Educa, (2003).
- [Murcia et al 16] E. Murcia, J. L. Arias, M. S. Osorio. Software educativo para el buen uso de las TIC. Entre Ciencia e Ingeniería, (19), 114-125, (2016).
- [Pedró 06] F. Pedró. “Aprender en el nuevo milenio”. París: CERI.OECD. (2006).
- [PHPSimplex] PHPSimplex, Teoría del método simplex (s.f.) [http://www.phpsimplex.com/teoria\\_metodo\\_simplex.htm](http://www.phpsimplex.com/teoria_metodo_simplex.htm), último acceso: 18/05/2018
- [Puccini et al 87] A. Puccini, N. Pizzolato. “Programação Linear”. LTC, Rio de Janeiro. (1987).
- [Rodríguez 15] A. H. Rodríguez, Usabilidad de un software educativo como medio instruccional para el proceso de enseñanza-aprendizaje de una asignatura. Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo ISSN: 2007-2619, (11). (2015).
- [Roque Alayón et al 16] Y. Roque Alayón, A. Sánchez Díaz, A. López Padrón, A. Fernández de Castro Fabre, D. Moura de Sousa. “Entorno de Aprendizaje Personalizado (PLE) para la asignatura de Investigación de Operaciones en Ingeniería Agrícola”. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 25(1), 55-59. (2016).

- [Salazar et al 11] S. Salazar, A. Renan. “Software para la Resolución de Problemas de Programación Lineal Aplicando el Algoritmo Simplex (Caso Fácil)” (Doctoral dissertation, Universidad de Oriente Nucleo de Sucre). (2011).
- [Schaffhauser 15] D. Schaffhauser, (2015, Junio 24). “Designing Learning Spaces for Both Online and On-Campus Delivery”. Retrieved Julio 04, 2016, from Campus Technology: <https://campustechnology.com/Articles/2015/06/24/Designing-LearningSpaces-for-Both-Online-and-On-Campus-Delivery.aspx?Page=1>
- [Sherr 17] I. Sherr, (10/05/2017) 500 millones de personas ya usan Windows 10: Microsoft <https://www.cnet.com/es/noticias/microsoft-500-millones-usan-windows-10/>, último acceso: 18/05/2018
- [Schrage 84] L. E. Schrage, Linear, integer, and quadratic programming with LINDO. Scientific Press (1984).
- [SSC] Software per il calcolo del simplesso <http://www.ssclab.org/>, último acceso: 07/03/2018
- [Sunkel 07] G. Sunkel, “Las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en la educación en América Latina: una exploración de indicadores”. Number n.125. Naciones Unidas, CEPAL, División de Desarrollo Social. (2007)
- [Taha 04] H. A. Taha. Investigación de operaciones. Pearson Educación. (2004).