

Formación por Competencias y Resignificación de Algoritmos en Investigación Operativa

Área temática: La Educación en la Ingeniería Industrial

Enriquez, Héctor*, Kowalski, Víctor, Erck, Mercedes

*Universidad Nacional de Misiones, Facultad de Ingeniería.
Juan Manuel de Rosas 325, Oberá (3360), Misiones.
enriquez@fio.unam.edu.ar, kowal@fio.unam.edu.ar, erck@fio.unam.edu.ar.*

RESUMEN

Para el Modelo de Formación por Competencias (MFPC) implementado en la asignatura Investigación Operativa (IO) de la carrera Ingeniería Industrial de la Universidad Nacional de Misiones se han formulado dos competencias. La primera está relacionada con la formulación de modelos matemáticos de situaciones problemáticas de sistemas de producción de bienes y servicios, en tanto la segunda se enfoca a la obtención de resultados de dichos modelos para auxiliar a la toma de decisiones. Para la obtención de estos resultados se utilizan diversos algoritmos, y hasta hace poco tiempo, la enseñanza de la IO tuvo un gran énfasis en la resolución de algoritmos "a mano", lo cual hacía que éstos tuvieran un papel central. Los problemas abordados académicamente estaban muchas veces alejados de las situaciones reales por su excesiva simplificación. No obstante, esta situación en la actualidad ha cambiado significativamente. Las instituciones han actualizado y mejorado sus equipamientos, y, por otra parte, la evolución de los computadores personales, fundamentalmente el acceso a los mismos en virtud de la reducción de costos, así como la evolución de software comerciales, hace que la posibilidad de resolver problemas complejos en las aulas sea una realidad completamente tangible. Dentro del MFPC implementado en IO, un adecuado diseño de situaciones de integración es el que posibilita al alumno articular y movilizar estructuras mentales, saberes y actitudes, acercándolo al contexto de los problemas del mundo profesional, y, en última instancia establecer si es competente para lo que se ha objetivado. El objetivo del presente trabajo es discutir la disyuntiva presentada entre la resolución de los algoritmos "a mano" y mediada por software, dentro del marco de un MFPC. Esta discusión surge como uno de los resultados de un proyecto de investigación, en el cual se emplearon técnicas de investigación cualitativa y cuantitativa dentro del paradigma pragmático.

Palabras Claves: Formación por competencias, Métodos de enseñanza, Investigación operativa, Ingeniería industrial, Algoritmos.

ABSTRACT

For the instructional design for competency training implemented in the subject Operations Research at Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), two competencies were developed. The first one relates to the development of mathematical models of problematic situations of goods and services production systems. The second aims at obtaining results of these models for decision-making. To obtain results from models, operations research uses algorithms. Until recently, the emphasis on operations research teaching was on manual resolution and algorithms had a key role. Moreover, exercises resolved in classroom were unrealistic because they were oversimplified. Currently, this situation changed. Universities have updated and improved their equipment, and on the other hand, the evolution of computers - mainly the access to them for their lower cost and the commercial software evolution- make feasible the resolution of complex problems in the classroom. In the implemented instructional design for competency training, proper design of integration situations allows students the articulation and mobilization of mental structures, knowledge and attitudes. With proper integration situations, the student can be closer to real professional problems, and finally, will allow determine if it is competent for the task. The aim of this paper is to discuss the dilemma between resolution algorithms "by hand" or software mediated. This discussion comes from a research project in which qualitative and quantitative research methods were used, within the pragmatic paradigm.

Keywords: Competency-based training, Teaching Methods, Operations Research, Industrial engineering, Algorithms.

1. INTRODUCCION

La Investigación Operativa (IO), también denominada investigación de operaciones o investigación operacional, es una disciplina consolidada que en la actualidad pertenece a varios ámbitos. Algunos la conocen como programación matemática, otros como la teoría de las decisiones (dentro del paradigma de la racionalidad económica) y es parte de programas educativos de grado y posgrado, así como de actividades de investigación, en el campo de las matemáticas, de la ingeniería industrial, de la economía, la administración y de la ingeniería en sistemas entre otros.

La consideración de la IO por las matemáticas como una de sus ramas, lleva a entenderla como el uso de modelos matemáticos, estadística y algoritmos, para auxiliar procesos de toma de decisiones. Dentro de este campo generalmente se la asocia con la programación lineal (PL), cuyos orígenes algunos autores inclusive la remontan a los siglos XVII y XVIII, con los aportes de Newton, Leibnitz, Bernoulli y Lagrange, y hasta Fourier a principios del XIX. Sin embargo, los aportes de matemáticos y economistas como von Neumann, Koopmans, y Kantoróvich, entre otros, fueron los que comenzaron a darle forma consistente a esta disciplina, hasta que el físico y matemático G. Dantzig propusiera en 1947 el algoritmo simplex para resolver problemas de PL.

Desde los comienzos de la disciplina, la evolución de las técnicas cuantitativas juega un papel preponderante. A partir de la década de 1950 la IO se desarrolla con gran rapidez como consecuencia de [1]: a) el progreso de las técnicas, b) los avances de la computación electrónica. Por otra parte, el nombre asignado a esta disciplina tiene origen militar, y fue a partir de los éxitos en este campo durante la Segunda Guerra Mundial que comienza el interés de la industria por la aplicación de las técnicas de optimización.

Más allá de la relación de la IO con las matemáticas, interesa aquí el papel que desempeña esta disciplina en su aplicación en la administración en general, y en el campo de la ingeniería industrial en particular. Actualmente la IO se presenta como parte de una serie de contenidos obligatorios en la formación de ingenieros e ingenieras industriales, dentro del conjunto de las denominadas Tecnologías Aplicadas, establecidas en las normas de calidad que regulan el proceso de acreditación [2]. Vale decir, aquí el foco de análisis está puesto en los procesos de enseñanza y de aprendizaje de la IO y no en otros aspectos, como ser actividades de investigación, por ejemplo.

De las distintas conceptualizaciones de la IO en los textos clásicos, se toma aquí una, como ser "En la ciencia de la administración (que también se denomina investigación de operaciones), los administradores utilizan las matemáticas y las computadoras para tomar decisiones racionales en la resolución de los problemas" [3].

El tema del uso de las computadoras en la IO, particularmente en la enseñanza, queda asociado indefectiblemente a la disponibilidad de recursos informáticos (*hardware* y *software* específicos para IO) que pueda tener una institución educativa. Es así, que hasta hace poco tiempo, la enseñanza de la IO tuvo un gran énfasis en la resolución de algoritmos "a mano", lo cual hacía que éstos tuvieran un papel central. Los problemas que se abordaban estaban diseñados para trabajar con pocas variables y pocas restricciones, muchas veces alejados de las situaciones reales por su excesiva simplificación, a lo cual no se le ha quitado mérito, ya que un aprendizaje significativo no necesariamente pasa por qué tan "compleja" pueda ser una situación modelada matemáticamente. No obstante, esta situación en la actualidad ha cambiado significativamente. Por un lado las instituciones han actualizado y mejorado sus equipamientos a través de los proyectos PROMEI. Por otra parte, la evolución de los computadores personales, fundamentalmente el acceso a los mismos en virtud de la reducción de costos, así como la evolución de *software* comerciales, hace que la posibilidad de resolver problemas complejos en las aulas sea una realidad completamente tangible.

Por otra parte, en la última década irrumpe en la formación de ingenieros la necesidad de la orientación a la Formación por Competencias (FPC). En esta dirección, el equipo docente de la cátedra de IO de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Misiones (FIUNaM) comenzó con una serie de experiencias piloto que derivaron en la implementación de un proyecto de investigación, desarrollado entre 2011 y 2014, mediante el cual se formuló y aplicó un Modelo de FPC (MFPC) en forma exitosa en la asignatura IO de la carrera de Ingeniería Industrial. La aplicación de un MFPC tiene una serie de consecuencias, una las cuales es la continua reflexión sobre las prácticas docentes, así como el rediseño de las modalidades organizativas, métodos de enseñanza, la construcción de instrumentos de evaluación para asegurar un aprendizaje significativo e integrador.

Se presenta en este trabajo una mirada sobre la asignatura IO y su MFPC. Se describen sucintamente cuales han sido cambios en la asignatura, los criterios utilizados para reformulación de la formación práctica y experimental, poniendo énfasis en el rol que desempeñan en el proceso formativo los algoritmos, la ejercitación "a mano" y la mediación con soportes informáticos.

2. LA ENSEÑANZA DE LAS INGENIERÍAS Y LA FORMACIÓN POR COMPETENCIAS

Luego de un poco más de un cuarto de siglo de la Declaración de Bolonia, mediante la cual fue impulsado el Proyecto Tuning en la Unión Europea, se instala en la Educación Superior la

Formación por Competencias (FPC). En esta dirección, el Consejo Federal de Decanos de Ingeniería (CONFEDI) de la Argentina propuso en 2007 un total de diez Competencias Genéricas, divididas en cinco Competencias Tecnológicas e igual cantidad de Competencias Sociales, Políticas y Actitudinales, para la formación de ingenieros [4]. En noviembre de 2013 se suscribió la “Declaración de Valparaíso” [5], donde la Asociación Iberoamericana de Entidades de Enseñanza de la Ingeniería (ASIBEI) adoptó como propia la síntesis de competencias genéricas de egreso acordadas por CONFEDI. Este hecho señaló un camino de consolidación de toda acción enfocada a orientar la formación de ingenieros hacia la FPC.

Sobre la base de los aportes de Perrenoud y Le Boterf, CONFEDI [4] propuso como definición: “Competencia es la capacidad de articular eficazmente un conjunto de esquemas (estructuras mentales) y valores, permitiendo movilizar (poner a disposición) distintos saberes, en un determinado contexto con el fin de resolver situaciones profesionales”. En este sentido, un MFPC presenta dos momentos principales de aprendizaje. En primer lugar aprender los recursos: saber qué (conceptos), saber cómo (procedimientos), y saber ser (actitudes), seguido de la participación en actividades de integración y de evaluación formativa que permiten aprender cómo movilizar los recursos en situaciones complejas [6]. Esta movilización de recursos debe tener un tratamiento integral, o “combinatorio”, en el sentido que propone Le Boterf [7].

El proceso de instalación de un MFPC se apoya sobre tres bases significativas: la definición de las competencias a formar, la selección de modalidades y métodos de enseñanza o mediación pedagógica, y finalmente la determinación de cómo evaluar las competencias [8]. La falta de una ellas hace perder el equilibrio, y el modelo se “cae”, pudiendo volver a ser un modelo tradicional con un cambio “estético” como sostienen Villa Sánchez y Poblete Ruíz [9] conduciendo a que “todo quede en un cambio epitelial, en un maquillaje para cuidar la imagen universitaria ante la sociedad en general”. En este sentido Tobón [10] argumenta que algunos diseños curriculares tienen falencias en la evaluación de las competencias debido a que siguen enfocados en evaluación de contenidos cognitivos, que es la forma tradicional de evaluación.

Para poder evaluar competencias es preciso un adecuado Diseño de Situaciones de Integración, para lo cual Roegiers [11] presenta un sólido referencial constituido por tres ejes: las “características de una situación” (integración, producción esperada del alumno y rasgos de situación a-didáctica), los “constituyentes de una situación” (soporte, tarea y consigna), y finalmente el “carácter significativo de una situación”. El concepto de situación a-didáctica referido es el que plantea Brousseau [12].

3. INVESTIGACIÓN OPERATIVA MEDIADA POR TIC Y UN MODELO DE FORMACIÓN POR COMPETENCIAS

La experiencia que se describe corresponde a la cátedra Investigación Operativa, que se dicta en el cuarto año de la carrera Ingeniería Industrial en la FIUNaM. Dentro del Plan de Estudio la asignatura tiene asignado un crédito horario de 120 horas, y una serie de contenidos mínimos, los cuales están distribuidos en 16 Unidades Temáticas. Los contenidos abarcan temas como Construcción de Modelos, Programación Lineal, Método Simplex, Modelos de Redes, Modelos de Líneas de Espera y de Inventario, Modelos de Decisión, Modelos de Reemplazo, Cadenas de Markov, entre otros. Corresponde a un programa clásico de IO, aunque con un crédito horario relativamente ajustado.

Desde el punto de vista de los Criterios de Intensidad de Formación Práctica [2] contribuye a la carrera con actividades de Resolución de Problemas de Ingeniería y Formación Experimental. La resolución de problemas se enfoca a situaciones reales o hipotéticas cuya solución requiera la aplicación de ciencias básicas y tecnologías. La formación experimental incluye actividades prácticas con computador, por lo tanto la disponibilidad de este recurso es imprescindible. Actualmente, la FIUNaM dispone de un aula de informática con capacidad suficiente para el desarrollo de las clases (a razón de un estudiante por computadora), con hardware y software apropiados para la práctica de todos los temas de la asignatura.

Desde que CONFEDI realizó la propuesta de Competencias Genéricas en 2007, el equipo de cátedra de IO comenzó a abordar esta problemática. Entre 2011 y 2014 se llevó adelante un proyecto de investigación, como se comentó previamente. Se utilizó una metodología de investigación mixta, combinando los enfoques cualitativos y cuantitativos, bajo el paradigma pragmático [13,14]. Las estrategias de investigación utilizadas fueron el estudio de caso y el análisis de la práctica interpretativa. El estudio de caso incluyó el rediseño y aplicación del diseño instruccional. Las técnicas e instrumentos utilizados fueron, entre otras, investigación documental y bibliográfica, técnicas de observación, encuestas estructuradas y semiestructuradas, grupos de discusión y la triangulación. Esta investigación concluyó en 2014, con la obtención de un diseño para la FPC desde la asignatura, el cual se encuentra implementado y en funcionamiento. Se pueden ver detalles del diseño, su implementación, revisión y resultados en publicaciones del equipo de investigación (como [15-18]).

El proyecto se enfocó en tres actividades: obtener un primer Diseño Instruccional (DI) a partir de la determinación de capacidades específicas y selección de competencias genéricas, en función de

las cuales se definiría la mediación pedagógica y el sistema de evaluación; implementar el DI; evaluar su impacto. En función de los resultados se propondrían mejoras para un nuevo DI. Se adoptó el concepto de DI, como “proceso sistemático por medio del cual se elaboran planes para el desarrollo de materiales y actividades de enseñanza con base en los principios de aprendizaje” [10]. El propósito de un DI es facilitar el aprendizaje de las personas y ha evolucionado dando lugar a distintos modelos. Los últimos se apoyan en teorías cognoscitivas, sistémicas y constructivistas. De acuerdo con Tobón (*ibid.*), el DI no puede concebirse como metodología conductista de la enseñanza, porque un DI puede abordarse desde distintos modelos pedagógicos y a partir de allí se obtienen sus características. La FPC, como modelo pedagógico, se vincula con este concepto, en la medida en que se busca determinar: “qué competencias se deben formar, en qué contexto, bajo qué fines, en cuales espacios, mediante qué tipo de organización de currículo y estrategias, y con qué metodología de evaluación” (*ibid.*).

Originalmente se trabajó tomando las Actividades Reservadas al Título como Competencias de Egreso, situación que no estaría muy distante de la ideal, por las propias características de la disciplina y porque los contenidos, que se relacionan estrechamente con las competencias específicas, fueron adecuadamente tratados en los planes de estudio, los que a su vez fueron convalidados por los procesos de acreditación. No obstante, durante el primer tramo de la investigación, se percibieron nuevos desarrollos teóricos y metodológicos en el área de la FPC [10]. Esto último, sumado al análisis del impacto de la primera aplicación del modelo, condujo a reformular la primera actividad. Se decidió entonces abordar desde una perspectiva integrada y articulada a las competencias específicas y las genéricas, lo cual resultaba más consistente con el enfoque de la FPC. Además, con el primer DI se incurrió en la sobre-formación de Capacidades Específicas, lo cual se traducía en definitiva en sobre-carga de contenidos. Justamente esto último es contradictorio con las nuevas tendencias en materia de formación de ingenieros, denominado por CONFEDI como Delimitación de la Formación de Grado y reafirmado por la ASIBEI [5]. Un MFPC se orienta a “Competencias de Egreso” que no coinciden con las “Competencias Profesionales”, ya que estas últimas solamente se logran durante el ejercicio profesional, a partir de las primeras.

Por esta razón, en la segunda parte se decidió avanzar en la formulación de una competencia específica hipotética para la Ingeniería Industrial, que se articularía más pertinentemente con las competencias específicas que pudieren formarse desde la IO. Una vez construida dicha competencia para la carrera, se formularon las siguientes competencias específicas para la asignatura [16]:

- A. Formular modelos matemáticos de situaciones problemáticas de un sistema de producción de bienes y servicios, con el objetivo de optimizar su desempeño incluyendo casos determinísticos y probabilísticos, trabajando en forma autónoma o en equipos interdisciplinarios.
- B. Obtener soluciones de los modelos matemáticos interpretando los resultados para transformarlos en información útil para la toma de decisiones contemplando variabilidades y contingencias.

El MFPC resultante del proyecto está constituido por las siguientes etapas [8]: 1. Definición de competencias a formar (1.1. Formulación competencias específicas; 1.2. Selección de competencias genéricas); 2. Formulación del DI (2.1. Revisión del DI vigente; 2.2. Diseño de las situaciones de integración; 2.3. Selección de las modalidades y métodos de enseñanza; 2.4. Diseño de los instrumentos de los métodos de enseñanza); 3. Establecimiento del sistema de evaluación por competencias (3.1. Selección de los instrumentos y técnicas de evaluación; 3.2. Diseño de los instrumentos y técnicas de evaluación; 3.3. Establecimiento de los criterios de evaluación; 3.4. Diseño del Sistema de Calificación); 4. Estructuración del Curso (4.1. Diseño del Cronograma de Clases y Actividades, incluyendo el diseño del Aula Virtual; 4.2. Diseño del sistema de monitoreo de la propuesta; 4.3. Definición de roles y tareas del equipo docente); 5. Aplicación del DI y Evaluación de su Impacto; 6. Revisión del DI y Aplicación de uno nuevo; 7. Continuar con la mejora continua. El centro de atención de la planificación son las competencias a adquirir por el alumno, rompiendo el esquema de trabajo tradicional lineal del profesor conformado por: Contenidos → Métodos → Evaluación [19].

Las Competencias Genéricas seleccionadas, siguiendo la nomenclatura de CONFEDI [4], han sido: 1) Competencia para identificar, formular y resolver problemas de ingeniería; 4) Competencia para utilizar de manera efectiva las técnicas y herramientas de aplicación en la ingeniería; 6) Competencia para desempeñarse de manera efectiva en equipos de trabajo; 7) Competencia para comunicarse con efectividad; 8) Competencia para actuar con ética, responsabilidad profesional y compromiso social, considerando el impacto económico, social y ambiental de su actividad en el contexto local y global.

Entonces, establecidas las competencias a formar y evaluar en la asignatura y considerando el marco normativo institucional como aquél que surge de las normas de calidad del proceso de acreditación, al momento de establecer un DI, debe quedar claro qué recursos (en el sentido de Le Boterf), o saberes, deben enseñarse, para luego poder ser articulados en las Situaciones de Integración. Es aquí donde debe intervenir el cuerpo docente con mayor énfasis para precisar el

alcance del aprendizaje de saberes hacer cognitivos, gestuales y socio-afectivos [11], de manera que sean suficientes para alcanzar los niveles de logro pre-establecidos, y no caer en la sobreformación de algunos.

Por ello es aquí donde se presentan los interrogantes, en particular en el caso que se ocupa este trabajo, donde se manifiesta una tensión entre algoritmos y utilización de software: ¿Cuáles algoritmos deben ser enseñados? ¿Con qué objetivos de aprendizaje? ¿Debe orientarse a la resolución “a mano” o mediada por software? ¿Cuáles son las capacidades que se pretenden que los estudiantes alcancen a desarrollar al final del curso? Estas cuestiones dan lugar a las discusiones de los apartados siguientes.

4. ALGORITMOS DE INVESTIGACIÓN OPERATIVA: ¿RESOLUCIÓN “A MANO” O MEDIADA POR SOFTWARE?

La IO opera en la práctica de la siguiente manera: A partir del reconocimiento de una situación problemática a resolver se plantea el modelo matemático adecuado (el cual también puede ser una combinación de modelos de acuerdo a la complejidad) y se recogen los datos necesarios. Luego se resuelve el modelo matemático a través de la técnica o algoritmo adecuado. Obtenida la solución se verifica si es viable su implementación, ya que se está hablando de modelos matemáticos que representan conjuntos complejos en los cuales están involucradas personas, procesos, máquinas, dinero, etc. Generalmente la inviabilidad de la solución está asociada a una formulación incorrecta del modelo matemático, aspecto intrínseco de los modelos, relacionado, por ejemplo con la representación inadecuada de relaciones causa-efecto, datos que no han sido relevados o estimados pertinentemente, etc., o inclusive porque la solución puede tener implicancias sociopolíticas, ambientales, etc., cuya implementación no es aconsejable. En dicho caso se revisa el modelo y se vuelve a buscar una solución “adecuada”.

Podría pensarse que la etapa de resolución es la más importante en un caso de aplicación, pero no es así. En realidad esta fase suele ser la más sencilla, encontrándose la mayor parte del trabajo, consumo de tiempo y requerimiento de capacidades específicas en las etapas anteriores del proceso de modelado (definir el problema y formular el modelo matemático) y las etapas posteriores a la resolución (interpretación, análisis posóptimo e implementación) [1, 20].

Fue en los comienzos de la IO cuando los métodos de solución eran el principal foco de atención. Según Schrage [20], las principales capacidades requeridas para la práctica de esta disciplina han evolucionado de la siguiente manera:

A. Década de 1950: Capacidad para resolver modelos.

B. Década de 1960: Capacidad para formular modelos de optimización.

C. Década de 1990 en adelante: Capacidad para aplicar modelos disponibles, tipo “plantilla”.

Los algoritmos desarrollados a lo largo de la historia de la IO pueden ser resueltos manualmente, sin necesidad de utilizar una computadora. Sin embargo, los problemas que suelen presentarse en la práctica al ingeniero industrial (ejemplos: problemas de mezclas de productos, problemas de planificación de producción, incluyendo problemas multiperiodo y multiproducto, análisis de inversiones, redes y transporte, programación de proyectos, asignaciones, inventarios, decisiones multicriterio, entre muchos otros) tienen un tamaño tal (en cuanto a variables, función a optimizar, restricciones, cantidad de datos de entrada y de salida) que los procedimientos de resolución a mano resultan inviables en términos de tiempo y eficiencia.

En la bibliografía dedicada a la IO pueden encontrarse distintas posiciones o enfoques respecto a los modelos y el proceso de resolución. Como ejemplos, Hillier y Lieberman [1], Taha [21] y Winston [22], presentan un panorama “general” de la disciplina, donde dan importancia a los modelos, al modelado, al proceso de resolución y explotación del modelo. En sus obras abunda la exposición en materia de algoritmos, con demostraciones, teoremas, ejemplos resueltos y problemas para ejercitación. Pero en estos textos, en la medida que publicaron nuevas ediciones desde sus lanzamientos, fueron introduciendo mayor cantidad de contenidos relacionados a la utilización de software para la resolución de modelos. En los mismos se encuentran tutoriales, ejemplos y ejercicios utilizando hojas de cálculo, incluyendo software complementario o “add-in” para las hojas de cálculo, lenguajes de modelado y optimización y en algunos de ellos software especializado. También estos libros (especialmente [1, 21]), en sus últimas ediciones presentan más ejemplos y casos reales. Estos libros que siguen el enfoque de profundización en los métodos de resolución continúan actualizándose y en sus sucesivas ediciones van dedicando espacio para introducir más temas (ejemplos: las metaheurísticas, análisis de riesgos, programación lineal bajo incertidumbre) y algoritmos para resolver los modelos. Tanto [1] y [21] al expandir sus contenidos, se vieron en la necesidad de publicar partes de sus libros en internet.

Por otra parte, se encuentran otros textos, como ejemplos los más recientes de Winston (junto a otros) [23, 24] y Anderson *et. al.* [25], enfocados al uso de la IO en ciencias de administración. En textos como estos, se profundiza en el proceso de modelado, pero dejan la resolución directamente para algún software, siendo las hojas de cálculo recursos ampliamente utilizados. Luego se dedican a la discusión de los resultados, la explotación del modelo y experimentación en algunos casos con escenarios de tipo “¿Qué pasaría si...?”. En resumen, enfocan los métodos de

la IO exclusivamente hacia la generación de una solución o recomendación para la toma de decisiones [25]. También existen textos destinados a la utilización de algún software específico para modelar y resolver problemas de IO, tal como [20]. En estos textos, el enfoque es similar a los últimos, pero detallan más en profundidad aspectos propios del software.

Retomando el diseño instruccional para la FPC de IO, una decisión fundamental para planificar la formación práctica surgió del siguiente interrogante ¿Debe enfocarse la formación hacia la enseñanza y aprendizaje de algoritmos “a mano” o debe ser mediada por software? Observando los enfoques de los autores que se mencionaron anteriormente, se identificaron dos alternativas de decisión:

A. La enseñanza y aprendizaje de algoritmos, utilizándolos para la resolución manual de ejercicios sencillos, con la posibilidad de abordar problemas más grandes con computadora.

B. Dejar todo el proceso de resolución de los modelos para la computadora.

También se podría haber seleccionado una posición intermedia, como ser utilizar un enfoque en unos temas y el otro enfoque en los restantes.

Según Taha [21], un algoritmo proporciona reglas de cálculo que se aplican en forma repetitiva y en cada iteración se trata de acercar la solución a un óptimo, pero “los cálculos asociados con cada iteración suelen ser tediosos y voluminosos, es recomendable que estos algoritmos se ejecuten con la computadora”. No obstante, el mismo autor no descarta la enseñanza de algoritmos. Manifiesta que un primer curso de IO (como en el caso en cuestión) debe permitir al estudiante apreciar la importancia tanto del modelado como del proceso de resolución. De esta forma, continúa diciendo: “Esto proporcionará a los usuarios de IO la clase de confianza que normalmente no se obtendría si la capacitación se enfocara sólo en el aspecto artístico de la IO, con el pretexto que las computadoras pueden liberar al usuario de la necesidad de entender por qué funcionan los algoritmos de solución” (*ibid.*). Hillier y Lieberman [1] también dedican gran parte de su clásico texto de investigación operativa a los algoritmos, puntualizan en todos los aspectos de resolución y después al análisis de resultados y explotación de los modelos.

Sin embargo, hay ciertas controversias en el enfoque de estos autores sobre los algoritmos. Es el caso de la PL, tema más importante y popular de la IO [20, 21], por lo tanto es uno de los temas centrales en la asignatura. Si un problema de PL tiene solamente dos variables, se trata de un problema pequeño y puede resolverse gráficamente. Pero si el problema tiene más variables, entonces debe recurrirse al algoritmo simplex. Sin embargo, la resolución manual con el método simplex presenta inconvenientes, tal como sostienen Hillier y Lieberman (*op.cit.*): “Aunque es posible aplicar el método simplex a mano para resolver problemas muy pequeños de programación lineal, los cálculos necesarios son demasiado tediosos para llevarlos a cabo de manera rutinaria”. Por otra parte, los programas informáticos tampoco utilizan el algoritmo simplex tal cual fue desarrollado originalmente. Se han desarrollado otros algoritmos como el Simplex Dual, el Simplex Revisado, el algoritmo del Punto Interior, entre otros. Además, según Taha (*op.cit.*): “...el formato de la tabla simplex no es numéricamente estable, es decir que el error de redondeo cometido por la computadora y la pérdida de dígitos presentan serios problemas de cálculo, en particular cuando los coeficientes del modelo de PL difieren con mucho en magnitud”.

A pesar de estos comentarios, tanto Hillier y Lieberman y Taha dedican un capítulo completo al algoritmo Simplex, presentando abundantes ejemplos y ejercitación con este método.

Diferente es la postura de Winston (junto con otros) en sus textos para ciencias de administración [23, 24]. Según este autor, ciertos resultados o actitudes negativas de los estudiantes en el pasado pueden atribuirse a la enseñanza de la IO: el énfasis en las formulaciones algebraicas, la memorización de modelos matemáticos y algoritmos de solución, incluyendo la resolución a mano. En sus últimas obras hace hincapié en la lógica del modelado y las soluciones que pueden obtenerse. Respecto al procedimiento de solución, argumenta: “Con la disponibilidad de computadoras para hacer el procesamiento numérico, no es necesario -salvo en los cursos avanzados- ahondar en los detalles de las técnicas de solución. Esta tarea puede ser delegada a las máquinas, que para eso son mucho mejores que los humanos. El tiempo que se gastaba en tales detalles ahora se puede utilizar para desarrollar valiosas habilidades para el modelado” (*ibid.*).

Considerando los argumentos anteriores, en el curso de IO se combinaron ambos enfoques. Por un lado, se continúa la enseñanza y aprendizaje de algoritmos, pero se dedica a ello pocas horas y se los aplica fundamentalmente en la resolución manual de ejercicios sencillos. En cuanto al uso de software, a partir de la implementación del DI en el MFPC se dedican más horas a la formación experimental utilizando computadoras, fundamentalmente para modelar y resolver situaciones problemáticas más cercanas a la realidad del ejercicio de la profesión.

A continuación se ejemplifica parte de lo realizado en el DI, respecto a la enseñanza y aprendizaje de los algoritmos en una unidad temática.

5. RESIGNIFICACIÓN DE ALGORITMOS EN UNA UNIDAD TEMÁTICA DE IO

El programa analítico de la asignatura está compuesto por 16 Unidades Temáticas. Se puede dividir la misma en dos partes. La primera se caracteriza porque trata sobre modelos lineales:

Programación Lineal (PL), Modelos de Transporte (MT), Programación Entera (PLE) y Modelos de Redes (MR). En la segunda parte de la asignatura, se tratan situaciones que en algunos casos pueden ser modeladas como PL, mientras que otras requieren modelos no lineales y en otros casos modelos probabilísticos: Modelos de Decisiones, Modelos de Inventarios, Líneas de Espera, Cadenas de Markov, y otros temas. Se exponen los lineamientos que fueron utilizados para la enseñanza y aprendizaje de los algoritmos en una unidad temática: “Modelos de Redes”, perteneciente a la primera parte del programa analítico. Las ideas que se presentan se utilizaron de manera análoga en las otras unidades temáticas de la asignatura.

Los MR clásicos de la IO son en realidad casos especiales de problemas de PL. Entre estos modelos se encuentran los problemas de “Ruta más Corta”, “Árbol de Expansión Mínima”, “Flujo Máximo” y “Flujo de Costo Mínimo”. Los problemas de Administración de Proyectos (CPM y PERT) también pueden representarse como redes, pero no se discuten en este apartado. El problema de Flujo de Costo Mínimo, además proporciona un enfoque unificado de muchas aplicaciones debido a su estructura. De esta forma, con algunas modificaciones sobre un modelo de Flujo de Costo Mínimo pueden abordarse: el Problema de Transporte, Asignación, Transbordo, Ruta más Corta y Flujo Máximo [1]. Algunas aplicaciones incluyen características de uno o más tipos de problemas de MR, por lo tanto es importante el conocimiento de cómo reformular estas características dentro del contexto del problema general (*ibid.*).

Los MR que se abordan en la asignatura poseen tres características importantes [20]:

- Pueden describirse de manera sencilla en forma gráfica (redes).
- En condiciones típicas proveen soluciones enteras.
- Suelen ser más sencillos de resolver que los PL generales.

Las características anteriores son importantes para la resolución de un modelo, pero la tercera merece especial atención. Existen algoritmos especiales para los problemas de MR, que permiten abordar grandes modelos, de difícil resolución como PL regulares [23]. Estos procedimientos especiales pueden ser hasta 100 veces más rápidos que el método simplex general y algunos de ellos se desarrollaron antes que el simplex [20]. Estos métodos especiales, sin embargo están disponibles en algunos paquetes informáticos, no siendo este el caso de los solucionadores que vienen con las hojas de cálculo ni en los lenguajes de modelado más populares. La construcción de modelos de redes con estos software suele hacerse como PL y su resolución con la versión del método simplex disponible en los mismos (por ejemplo véase [20, 23, 25]).

Anteriormente a la implementación del primer DI para la FPC en la asignatura, se diferenciaban las modalidades tradicionales de “horas de teoría” y “horas de práctica”. Las horas de teoría incluían descripciones de diferentes situaciones susceptibles de ser modeladas como redes, ejemplificando con un caso sencillo cada uno de los tipos de modelos de redes, el proceso de modelado y resolución, y el análisis de resultados. Los problemas que se presentaban eran sencillos, con enunciados típicos de textos de IO. Para el proceso de resolución, se detallaba la aplicación de un algoritmo especializado para cada uno de los problemas expuestos. Por su diseño, estos problemas utilizaban pocas variables, pero generalmente se alejaban de las situaciones reales por su excesiva simplificación. No obstante, su resolución podía hacerse con una cantidad de iteraciones relativamente pequeña. Durante las horas de teoría, la mayor cantidad de tiempo se destinaba a la exposición de los diferentes algoritmos de resolución. Una vez finalizada la exposición teórica, en las horas de practica los estudiantes debían resolver algunos ejercicios sencillos a mano. Dado el tiempo que consumía la resolución a mano de un ejercicio, los problemas que podían trabajarse en el aula también eran excesivamente simplificados y podían resolverse unos pocos ejercicios en cada clase. Bajo este esquema, la planificación de la unidad temática debía prever una gran parte de las horas disponibles para la exposición de los algoritmos y otra gran parte para la ejercitación a mano.

Con el MFPC se introdujeron cambios en la mediación pedagógica, en relación al proceso de resolución de los modelos matemáticos. En algunas unidades temáticas, se continúa la enseñanza y aprendizaje de algoritmos, como es el caso de la unidad que corresponde a la PL y al método simplex, que por otra parte se encuentra dentro de los contenidos mínimos de la asignatura; pero se dedican menor cantidad de horas a la enseñanza de estos procedimientos, aplicándolos en la resolución manual de ejercicios sencillos. En otras unidades temáticas se hace hincapié en el proceso de modelado y análisis de resultados, con menor detalle en los procesos de resolución.

En la unidad temática de MR se decidió enfocar la formación práctica fundamentalmente en el proceso de modelado, la explotación de los modelos y el análisis en profundidad de los resultados obtenidos. Para ello, las horas que se dedicaban a la explicación de los algoritmos especiales para los MR y la práctica a mano se sustituyeron por horas de entrenamiento para modelar y resolver problemas utilizando la computadora y software (principalmente hojas de cálculo), comenzando habitualmente con ejercicios sencillos típicos y avanzando hacia situaciones problemáticas especialmente diseñadas, más cercanas a la realidad del ejercicio de la profesión. Para el diseño de estas situaciones se siguió el referencial propuesto por Roegiers [11], buscando en cada situación la movilización de un conjunto contextualizado de competencias y su articulación de acuerdo a una tarea determinada. Una “situación-problema”, de acuerdo a Roegiers (*ibid.*)

requiere la integración de datos clave y parásitos, activando saberes previos y “necesita una movilización cognitiva, gestual y/o socio-afectiva de los diversos conocimientos adquiridos del alumno”. Una situación-problema con estas características permite la movilización del saber hacer cognitivo, y no meramente el saber re-hacer que podría incorporarse a través de una consigna típica. El estudiante frente a esta situación debe activar saberes previos relacionándolos con las consignas, movilizándolos cognitiva y gestualmente, ya que no se trata de la tarea elemental de construir el modelo matemático y resolverlo. La interpretación que debe hacer de los resultados, es más compleja (no más complicada) y contextualizada. Pueden verse detalles del diseño de un instrumento de evaluación utilizado en la asignatura, construido de acuerdo al referencial propuesto por Roegiers, en [18].

La planificación anterior de la asignatura contemplaba objetivos generales para la materia y específicos para cada unidad temática. Con el DI propuesto para la FPC, los objetivos se relacionan con capacidades a desarrollar, además de otras capacidades previas que el estudiante debió haber alcanzado. En la unidad temática de MR, se definieron las siguientes capacidades específicas a desarrollar:

1. Definir los Modelos de Redes (MR) e identificar sus características.
2. Modelar y Optimizar situaciones con el problema del Árbol de Expansión Mínima.
3. Modelar y Optimizar situaciones con el problema de la Ruta Más Corta.
4. Modelar y Optimizar situaciones con el problema del Flujo Máximo.
5. Modelar y Optimizar situaciones con el problema del Flujo de Costo Mínimo.
6. Interpretar los informes de respuesta de los soportes informáticos.
7. Experimentar con escenarios.
8. Identificar e interpretar cambios en la situación problemática y sus consecuencias sobre el modelo matemático y las decisiones.
9. Comparar la nueva solución óptima (v. de decisión y f. objetivo) con la original y analizar/valorar el efecto de los cambios.
10. Expresar los resultados adecuadamente.

Cada una de las capacidades anteriores se relaciona con un conjunto capacidades componentes, y a su vez con competencias específicas de la asignatura, en un esquema similar a la propuesta de CONFEDI [4, 5]. Las capacidades 1 a 5 se relacionan con la primera competencia específica (“Formular modelos matemáticos de situaciones problemáticas...”) y las restantes con la segunda competencia (“Obtener soluciones de los modelos matemáticos interpretando los resultados...”). Estas competencias, por la naturaleza de la asignatura están relacionadas con algunas de las Competencias Genéricas Tecnológicas propuestas por CONFEDI, con una fuerte relación con la de “Identificar, formular y resolver problemas de ingeniería”. En cuanto a las capacidades componentes, las que se asocian a la construcción y optimización de MR se pueden resumir en las siguientes:

- i. Definir celdas o matrices para la construcción de los modelos en hojas de cálculo: para los nodos de la red; para el flujo en cada arco (variables de decisión); para el flujo neto en cada nodo (suministrado/recibido); para las restricciones de suministro/demanda de cada nodo; para las restricciones de capacidad de los arcos (si corresponde al modelo) y para los costos o distancias (si corresponde al modelo).
- ii. Definir las funciones para: Celda objetivo y flujo neto en cada nodo (suministrado/recibido).
- iii. Definir las condiciones de restricciones para el flujo neto en los nodos y/o en los arcos, según el tipo de modelo.
- iv. Definir e introducir parámetros para el solucionador: Establecer objetivo (celda objetivo); criterio de maximización o minimización, según tipo de modelo; agregar, modificar o eliminar las restricciones para los flujos en los arcos o en los nodos, correspondientes a cada tipo de modelo; convertir variables sin restricciones en no negativas; y utilizar método de solución Simplex LP.
- v. Obtener los informes de respuesta y sensibilidad, si corresponde.
- vi. Conservar los informes como hojas en un mismo libro y conservar la solución obtenida en la hoja del modelo.

Por otra parte, en la unidad temática se implementaron actividades prácticas bajo la modalidad de aprendizaje colaborativo, las cuales persiguen como objetivos la formación y evaluación de competencias genéricas, relacionadas a capacidades para desempeñarse de manera efectiva en equipos de trabajo. En este sentido, para la evaluación de la unidad temática se planteó una instancia de integración (de acuerdo al referencial de Roegiers, *op.cit.*) bajo la modalidad de trabajo en equipo (equipos de 3 o 4 estudiantes, conformados por la cátedra, siguiendo criterios establecidos).

6. CONCLUSIONES

El DI para la FPC en la asignatura IO permite la revisión de las modalidades y métodos de enseñanza, la evaluación y la revisión de las actividades cotidianas del equipo docente. En este trabajo se reflexiona sobre la formación práctica en el dictado de la asignatura. Se discute sobre la

importancia del aprendizaje de los algoritmos y de la ejercitación “a mano”, considerando que los problemas ingenieriles en la actualidad se resuelven con computadoras y software, recursos que por cierto han formado parte de la evolución de la IO y hoy más que nunca están al alcance de las personas.

En la bibliografía consultada, dentro de la cual se hallan textos clásicos de la materia y típicos en cualquier curso de IO a nivel de grado, se encuentran diferentes posturas de los autores respecto a los algoritmos y el proceso de resolución. Algunos defienden la enseñanza de los algoritmos e incluyen abundantes ejemplos resueltos paso a paso, que corresponden a problemas que por cierto son muy sencillos y permiten una resolución con cierta comodidad, en términos de cálculos y tiempo necesario. No obstante, estos autores reconocen la importancia del uso de computadoras para resolver los problemas que se presentan en la realidad. Otros autores, en sus obras prácticamente no dan lugar a la descripción de algoritmos, argumentando que esta tarea es mejor si es ejecutada por las computadoras que por las personas. De esta forma, presentan ejemplos prácticos y, cualesquiera sean sus características, los resuelven en algún software, enfocando el proceso hacia el modelado y posteriormente en la discusión sobre los resultados.

La revisión del DI para la FPC, en el curso de IO produjo un cambio de enfoque en la mediación pedagógica, al direccionar el proceso formativo hacia la formación experimental con computadora, para abordar situaciones-problema que permitan, además del aprendizaje de recursos, la movilización de los mismos en situaciones complejas. Este cambio de enfoque ha permitido a los estudiantes un aprendizaje más significativo de los recursos que pueden proveerse desde la asignatura, desarrollando en ellos las capacidades necesarias para afrontar situaciones, con características semejantes a los problemas que los Ingenieros e Ingenieras Industriales pueden encontrar en el ejercicio de su profesión.

Todo el proceso de cambio llevado a cabo en la asignatura IO está centrado en el aprendizaje del estudiante y dirigido hacia la formación de dos competencias específicas formuladas para la asignatura. Junto a estas también se buscan formar otras competencias genéricas, como por ejemplo las competencias para desempeñarse de manera efectiva en equipos.

Lo realizado en este trabajo presenta en forma sintética algunos cambios efectuados en la asignatura IO al implementar un DI para la FPC, pasando de la enseñanza de contenidos a un modelo formativo centrado en el estudiante, en el que se busca el desarrollo articulado del ser, del saber, saber hacer y del saber ser.

REFERENCIAS

- [1]. Hillier, F. S.; Lieberman G. J. (2015): *Introduction to operations research*. Nueva York. Décima edición. McGraw-Hill Education. Estados Unidos.
- [2]. Resolución Ministerio de Educación 1054 (2002): Estándares para la acreditación de Ingeniería Industrial. Boletín Oficial N°30014, p.8. Buenos Aires, Argentina.
- [3]. Mathur, K.; Solow, D. (1996): *Investigación de operaciones: El arte de la toma de decisiones*. México. Prentice-Hall. México.
- [4]. CONFEDI (2007): *Competencias Genéricas. Desarrollo de competencias en la enseñanza de la ingeniería argentina*. San Juan. Universidad Nacional de San Juan. Argentina.
- [5]. Anónimo (2014): *Competencias en Ingeniería*. Mar del Plata. Universidad FASTA. Argentina.
- [6]. Jabif, L. (2010). “Competencias y situaciones: un matrimonio inseparable”. *Revista Electrónica de Desarrollo de Competencias (REDEC)*, vol. 2 (6), p. 4 -22.
- [7]. Le Boterf, G.: *Professionnaliser* (2010). *Construire des parcours personnalisés de professionnalisation*. Paris. Sexta edición. Éditions d'Organisation Groupe Eyrolles. Francia.
- [8]. Kowalski, V.; Erck, M.; Enriquez, H. (2015): “Formación por competencias en ingeniería industrial: moda o mejora académica”. *III Congresso Internacional de Educação Científica e Tecnológica (CIECITEC)*. Santo Ângelo, Brasil.
- [9]. Villa Sánchez, A. (Dir.); Poblete Ruiz, M. (Dir.), y otros. (2007). *Aprendizaje basado en competencias. Una propuesta para la evaluación de las competencias genéricas*. Universidad de Deusto, Bilbao. Ediciones Mensajero. España.
- [10]. Tobón Tobón, S. (2013): *Formación integral y competencias: pensamiento complejo, currículo, didáctica y evaluación*. Bogotá. Cuarta edición. Ecoe Ediciones. Colombia.
- [11]. Roegiers, X. (2007). *Pedagogía de la integración. Competencias e integración de los conocimientos en la enseñanza*. San José. Coordinación Educativa y Cultural Centroamericana y AECI. Colección IDER (Investigación y desarrollo educativo regional). Costa Rica
- [12]. Brousseau G. (Aut.); Balacheff N.; Cooper M.; Sutherland R.; Warfield V. (Eds.) (2002). *Theory of didactical situations in mathematics. Didactique des mathématiques, 1970-1990*. Estados Unidos. Kluwer Academic Publishers. Estados Unidos.

- [13]. Mertens, D. M. (2010): *Research and evaluation in education and psychology: integrating diversity with quantitative, qualitative, and mixed methods*. Estados Unidos. Tercera Edición. SAGE Publications. Estados Unidos.
- [14]. Denzin, N. K.; Lincoln, I. S. (Eds.) (2005): *The sage handbook of qualitative research*. Estados Unidos. Tercera edición. SAGE Publications. Estados Unidos.
- [15]. Kowalski, Víctor A.; Erck, Mercedes I.; Enriquez, Héctor D.; Santander, Andrea G.; Hedman Graciela E.; Morales, Iván L. (2014). "Propuesta de un modelo de formación por competencias en investigación operativa para ingenieros/as industriales". *XXVII Encuentro Nacional de Docentes en Investigación Operativa (ENDIO), XXV Escuela de Perfeccionamiento en Investigación Operativa (EPIO)*. San Nicolás, Argentina.
- [16]. Kowalski, V.; Erck, M.; Enriquez, H., Santander, A.; Morales, I. (2014): "¿Cómo avanzar en un modelo de Formación por Competencias sin las definiciones de competencias específicas de la propuesta de CONFEDI?" *VII Congreso de Ingeniería Industrial COINI*. Puerto Madryn, Argentina.
- [17]. Enriquez, H. D.; Kowalski, V. A., Erck, M. I., Santander A. G., Morales, Iván L. (2014): "Enseñanza con estudios de casos en un modelo de formación por competencias para ingenieros/as industriales". *VII Congreso de Ingeniería Industrial COINI*. Puerto Madryn, Argentina.
- [18]. Kowalski V.A.; Santelices Malfanti I.; Erck M.I.; Enriquez, H.D. (2015): "Consideraciones para el diseño de situaciones de integración en investigación operativa en un modelo de formación por competencias". *VIII Simposio Internacional de Ingeniería Industrial: Actualidad y Nuevas Tendencias*. Concepción, Chile.
- [19]. De Miguel Díaz, M. (Dir.); Alfaro Rocher, I.J.; Apodaca Urquijo, P.; Arias Blanco, J.M.; García Jiménez, E.; Lobato Fraile, C.; Pérez Boullosa, A. (2006): *Modalidades de enseñanza centradas en el desarrollo de competencias: orientaciones para promover el cambio metodológico en el espacio europeo de educación superior*. Oviedo. Ediciones de la Universidad de Oviedo. España.
- [20]. Schrage, L. (2006): *Optimization modeling with LINGO*. Estados Unidos. Sexta edición. LINDO Systems Inc. Estados Unidos.
- [21]. Taha, H. A. (2012): *Investigación de operaciones*. México. Novena edición. Pearson Educación. México.
- [22]. Winston, W. L. (2005): *Investigación de operaciones: Aplicaciones y Algoritmos*. México. Cuarta edición. Thomson. México.
- [23]. Winston, W.L; Albright, S. C. (2011): *Practical management science*. Estados Unidos. Cuarta edición. Cengage Learning. Estados Unidos.
- [24]. Albright, S. C.; Winston, W. L.; Zappe, C.J. (2011): *Data analysis and decision making*. Estados Unidos. Cuarta edición. Cengage Learning. Estados Unidos.
- [25]. Anderson, D.; Sweeney, D.; Williams, T.; Camm, J.; Martín, K. (2011): *Métodos cuantitativos para los negocios*. México. Decimoprimer edición. Cengage Learning. México.