

# Análisis y estudio de casos de éxito de la aplicación de la Investigación Operativa en la industria como eje central en las asignaturas de Investigación Operativa en el grado y máster en Matemáticas.

Marta Baldomero Naranjo\*, Inmaculada Espejo Miranda\*, Elena Fernández Areizaga\*, Luisa Isabel Martínez Merino\*, Manuel Muñoz Márquez\*, Antonio Manuel Rodríguez Chía\*

\* Departamento de Estadística e Investigación Operativa, Facultad de Ciencias, Universidad de Cádiz.

[antonio.rodriquezchia@uca.es](mailto:antonio.rodriquezchia@uca.es)

**RESUMEN:** Este proyecto se basa en realizar un cambio de metodología en la enseñanza de las asignaturas de Investigación Operativa del grado y máster en Matemáticas. En la mayoría de las asignaturas de estas titulaciones los conocimientos que se imparten son teóricos, sin aplicaciones prácticas. En el presente proyecto, se propuso cambiar esta situación, proponiendo a los estudiantes problemas reales en sectores tan variados como la planificación del sistema de recogida de basuras, la organización del personal, el desarrollo de redes de ayuda humanitaria, la planificación de rutas en redes de transporte, la localización de servicios de emergencias, el análisis de datos, entre otros. En primer lugar, se exponen las actividades realizadas junto con la cronología seguida y la metodología aplicada. A continuación, se presentan los resultados obtenidos de aplicar dicha metodología durante el curso 2019/2020 y curso 2020/2021 en la Programación Matemática, Modelos de la Investigación Operativa y Matemáticas Aplicadas a la Ciencia y a la Empresa del grado y máster en Matemáticas en la Universidad de Cádiz.

**PALABRAS CLAVE** (*se indexarán para facilitar la búsqueda de este documento*): innovación, proyecto, docencia, empresa, industria, aplicaciones reales, investigación operativa, motivación, matemáticas.

## INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente en el grado y el máster en Matemáticas las asignaturas se han centrado en contenidos sumamente teóricos. En este proyecto se propone un cambio de metodología en las asignaturas de Investigación Operativa. Se pretende que los discentes aprendan y profundicen en aplicaciones reales al mismo tiempo que adquieren los contenidos teóricos tan necesario en estas titulaciones.

Como eje central de esta nueva metodología se organizan sesiones en las que se abandona la clase magistral. Se propone que los estudiantes investiguen y profundicen por grupos en problemas reales que han sido resueltos utilizando los contenidos de la asignatura y publicados en libros o revistas de reconocido prestigio internacional. Tras el estudio previo, cada grupo de estudiantes expone el problema junto con las soluciones planteadas al resto de la clase. Asimismo, se propone que elaboren una pequeña muestra del problema y que desarrollen el software necesario para resolverlo (se usaron los softwares (FICO, 2020; Karatzoglou, Hornik, Smola, Maniscalco y Teo, 2019)). Posteriormente, el resto de los alumnos evaluaba cualitativamente y de manera anónima el trabajo de los compañeros, propiciando el aprendizaje de la competencia comunicativa.

Por otro lado, en el curso 2019/2020 como complemento al estudio realizado por los alumnos, se organizaron dos encuentros: uno con un profesional del mundo empresarial y otro con un académico que ha desarrollado numerosas colaboraciones con empresas. Por último, se invitó a los discentes a una ponencia de un investigador extranjero donde resolvía un problema de asignación de estudiantes de medicina a hospitales con las técnicas estudiadas en la asignatura. Durante el curso 2020/2021 se organizó otro encuentro con un investigador que expuso su trabajo en la optimización de rutas

de transporte de verduras refrigeradas. Debido a la situación sanitaria, este encuentro se desarrolló de manera virtual.

En resumen, el objetivo del proyecto es motivar a los estudiantes resolviendo casos reales en la industria aplicando las herramientas del área de las asignaturas: Programación Matemática, Modelos de la Investigación Operativa y Matemáticas Aplicadas a la Ciencia y a la Empresa. Además, la primera fase del proyecto permitió a los estudiantes desarrollar competencias fundamentales en el mundo laboral y científico, siendo de especial interés el conocimiento del software científico utilizado en la empresa. Creemos que el ámbito del proyecto es de gran importancia ya que posibilita a los estudiantes tener contacto con problemas reales del mundo empresarial, desarrollando competencias fundamentales en los estudios universitarios, atendiendo a los siguientes objetivos

- Usar eficazmente las TIC.
- Motivar a profesores y alumnos para mejorar el sistema enseñanza-aprendizaje.
- Participar la labor docente con actividades de utilidad para la orientación profesional.

El resto del artículo se organiza como se indica a continuación. En la sección *Materiales y Métodos* se explican las actividades que se desarrollaron y la cronología de las mismas. En la sección *Resultados* se muestran los resultados de la retroalimentación recibida por parte de los alumnos. Finalmente, en la sección *Conclusiones* se detallan las conclusiones del proyecto.

## MATERIALES Y MÉTODOS

En lo que sigue, se detalla el plan de actividades que se llevó a cabo en la asignatura.

En la primera sesión de cada asignatura, se informó a los alumnos del plan de innovación docente que se iba a llevar a

cabo, así como de las características de esta nueva metodología.

La metodología introducida constaba de dos partes diferenciadas. En primer lugar, los alumnos elaboraron un trabajo de investigación grupal o individual según la asignatura. Por cuestiones de organización esta fase no se pudo llevar a cabo en la asignatura de Programación Matemática. Las temáticas propuestas en los trabajos de investigación fueron las siguientes: planificación del sistema de recogida de basuras (Perea, Ruiz y Katragjini, 2016), organización de voluntarios en una ONG (Falasca, Zobel y Ragsdale, 2011), desarrollo de redes de distribución de ayuda humanitaria (Rancourt, Cordeau, Laporte y Watkins, 2015), planificación de rutas de vuelo (Parmentier y Meunier, 2020), planificación de repostajes en vuelo (Kannon, Nurre, Lunday y Hill, 2015), distribución de los asientos de los parlamentarios en el congreso de los diputados (Hales y García, 2019), localización de servicios de emergencias (Güne y Nickel, 2015) y los problemas de clasificación en el análisis de datos. La primera fase consistía en la elaboración de un trabajo sobre el tema asignado. En este momento, los discentes se enfrentaban a problemas reales, debiendo estudiar y comprender los artículos científicos propuestos utilizando bibliografía complementaria. Este proceso fue guiado y supervisado por los docentes participantes del proyecto, organizando tutorías individualizadas. Los alumnos debían de generar pequeñas muestras del problema y desarrollar un software que le permitiera resolverlo. En la asignatura de Modelos de la Investigación operativa se usó FICO Xpress Optimization y en la asignatura de Matemáticas Aplicadas a la Ciencia y a la Empresa se utilizó R. Tras este estudio previo, los discentes explicaron al resto de la clase el problema resuelto, las herramientas matemáticas utilizadas para resolverlo y los resultados obtenidos por los programas que ellos mismos habían desarrollado. También se explicaron las dificultades que habían tenido y como las habían resuelto, de esta manera, los compañeros aprendían nuevas técnicas de resolución de problemas desarrollándose la competencia aprender a aprender. Tras la exposición, el resto de los alumnos evaluaba cualitativamente y de manera anónima el trabajo de los compañeros a través del campus virtual, propiciando retroalimentación de la exposición en cuanto a organización de los contenidos, claridad, seguridad, etc. Esta iniciativa tuvo muy buena acogida entre los estudiantes ya que les permitía mejorar su competencia comunicativa.

En la segunda parte, durante el curso 2019/2020, se organizaron encuentros con profesionales del sector. En primer lugar, Iker Barriales Valbuena Director de Tecnología de la empresa MAPAL Software impartió la ponencia: "La nueva revolución de las Matemáticas", ver Figura 1. Unas semanas más tarde, Ángel Manuel González Rueda de la Universidad de A Coruña impartió la ponencia: "Aplicación de la Investigación Operativa en la gestión eficiente de redes de gas", ver Figura 2. Tras las ponencias, se organizaron encuentros con los invitados en el que los discentes pudieron plantear sus dudas e inquietudes.

Por otra parte, los alumnos fueron invitados a la ponencia titulada "Mathematical models for the Hospitals / Residents problem with Couples and Ties" impartida dentro de las *V Jornadas Doctorales del Programa de Doctorado en Matemáticas* por el Prof. Jörg Kalcsics de la Universidad de Edimburgo. A diferencia de las ponencias anteriores, esta ponencia se impartió en inglés. Según la retroalimentación

recibida, la mitad de los asistentes indicaron que el hecho que no fuera en castellano dificultó la comprensión de la misma.



Figura 1. Encuentro con Iker Barriales Valbuena de la empresa MAPAL Software

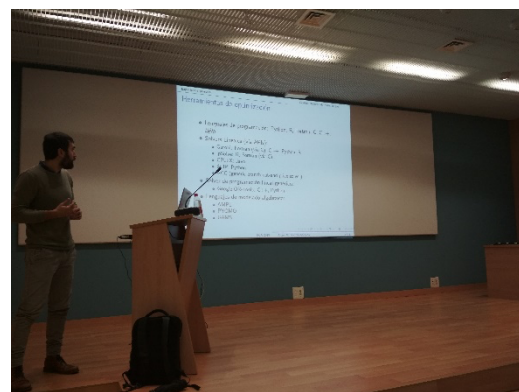


Figura 2. Encuentro con Ángel Manuel González Rueda de la Universidad de A Coruña

Durante el curso 2020/2021, debido a la situación sanitaria no se pudieron organizar encuentros presenciales. En este curso, el Prof. Alfredo Marín de la Universidad de Murcia impartió la ponencia titulada "Optimización en el transporte de verdura refrigerada". Tras las ponencias, los discentes pudieron preguntar sus dudas y curiosidades al ponente.

## RESULTADOS

En esta sección analizamos los resultados obtenidos en los trabajos y la valoración emitida por parte de los asistentes a las ponencias.

En primer lugar, los trabajos entregados por los alumnos fueron de alta calidad, resolviendo problemas complejos y de gran aplicación en la realidad obteniendo muy buenos resultados. La nota media de los trabajos fue de 8,45 en la asignatura de Modelos de la Investigación Operativa y de 7,53 en la asignatura de Matemáticas Aplicadas a la Ciencia y a la Empresa.

Por otra parte, los encuentros fueron valorados de manera muy positiva por los asistentes, obteniéndose una valoración de 4.3/5 (Encuentro con Iker Barriales Valbuena de la empresa MAPAL Software), 4.16/5 (Encuentro con Ángel Manuel González Rueda de la Universidad de A Coruña), 4.14/5 (Ponencia de Jörg Kalcsics de la Universidad de Edimburgo) y 4.38/5 (Encuentro con Alfredo Marín de la Universidad de Murcia) respectivamente.

## CONCLUSIONES

Consideramos que este proyecto de innovación docente ha sido muy enriquecedor para los discentes, como se ha reflejado en las encuestas realizadas.

## REFERENCIAS

- Falasca, M., Zobel, C. y Ragsdale, C. (2011). Helping a small development organization manage volunteers more efficiently. *Interfaces*, 41(3), 254-262. <https://doi.org/10.1287/inte.1110.0570>
- FICO. (2020). FICO Xpress Optimization.
- Güne, E. D. y Nickel, S. (2015). Location Problems in Healthcare. En *Location Science* (pp. 555-580). <https://doi.org/10.1007/978-3-319-13111-5>
- Hales, R. O. y García, S. (2019). Congress seat allocation using mathematical optimization. *Top*, 27(3), 426-455. <https://doi.org/10.1007/s11750-019-00515-3>
- Kannon, T. E., Nurre, S. G., Lunday, B. J. y Hill, R. R. (2015). The aircraft routing problem with refueling. *Optimization Letters*, 9(8), 1609-1624. <https://doi.org/10.1007/s11590-015-0849-8>
- Karatzoglou, A., Hornik, K., Smola, A., Maniscalco, M. A. y Teo, C. H. (2019). kernlab: Kernel-Based Machine Learning Lab. Recuperado a partir de <https://cran.r-project.org/package=kernlab>
- Parmentier, A. y Meunier, F. (2020). Aircraft routing and crew pairing: Updated algorithms at Air France. *Omega (United Kingdom)*, 93, 102073. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2019.05.009>
- Perea, F., Ruiz, R. y Katragjini, K. (2016). Integer programming, clustering, and local search approaches for grouping urban waste collection sites. *Boletín de Estadística e Investigación Operativa*, 32(3), 203-224.
- Rancourt, M. È., Cordeau, J. F., Laporte, G. y Watkins, B. (2015). Tactical network planning for food aid distribution in Kenya. *Computers and Operations Research*, 56, 68-83. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2014.10.018>

## AGRADECIMIENTOS

Nos gustaría agradecer a Iker Barriales Valbuena Director de Tecnología de la empresa MAPAL Software, a Ángel Manuel González Rueda de la Universidad de A Coruña y a Alfredo Marín de la Universidad de Murcia su participación como ponentes en los encuentros empresariales organizados. Sin su colaboración no habría sido posible llevarlos a cabo. Asimismo, nos gustaría agradecer al comité organizador de las V Jornadas Doctorales del Programa de Doctorado en Matemáticas y al investigador Jörg Kalcsics por permitir la asistencia a la ponencia a los alumnos del grado y máster en Matemáticas.