

# Aprendizaje de Investigación Operativa con Internet. Una Oportunidad para la Síntesis.

Francisco MAURO GUTIÉRREZ

Departamento de Economía y Gestión Forestal. Universidad Politécnica de Madrid.  
[fmauro@alumnos.upm.es](mailto:fmauro@alumnos.upm.es)

Esperanza AYUGA TÉLLEZ

Departamento de Economía y Gestión Forestal. Universidad Politécnica de Madrid.  
[esperanza.ayuga@upm.es](mailto:esperanza.ayuga@upm.es)

Concepción GONZÁLEZ GARCÍA

Departamento de Economía y Gestión Forestal. Universidad Politécnica de Madrid.  
[concepción.gonzalez@upm.es](mailto:concepción.gonzalez@upm.es)

Susana MARTÍN FERNÁNDEZ

Departamento de Economía y Gestión Forestal. Universidad Politécnica de Madrid.  
[susana.martin@upm.es](mailto:susana.martin@upm.es)

**Sesión Invitada:** Software y recursos informáticos aplicados a la enseñanza de la Ingeniería

## RESUMEN

La Investigación Operativa es una de las asignaturas optativas del sexto y último curso de Ingeniería de Montes en la Universidad Politécnica de Madrid. La investigación de operaciones tiene un amplio ámbito de aplicación, lo cual la hace una asignatura ideal para integrar conocimientos de Ingeniería y relacionar con otras materias estudiadas.

Tal como está organizada la asignatura el conjunto de las clases teóricas, y clases prácticas proporcionan al alumno los conocimientos básicos en la materia que le permitirán, si lo desea, profundizar en su estudio. El trabajo final es una gran oportunidad para motivar al alumno a realizar un esfuerzo de síntesis y emplear de forma conjunta y sinérgica los conocimientos y capacidades adquiridas durante el desarrollo de la asignatura y el resto de su formación académica.

Para la elaboración de los trabajos fue fundamental el proceso de búsqueda de información a través de, bibliografía y sobre todo a través de Internet. Este proceso exige una actitud activa por parte de aquel que la realiza. El volumen de información disponible en la red es tan grande, que los alumnos deben desarrollar su capacidad para resumir información y quedarse con los aspectos que consideren más apropiados para sus trabajos. Además de la capacidad para seleccionar información relevante, los alumnos deben afinar también, sus habilidades para localizar aquellos temas que les van a resultar interesantes.

El desarrollo de la asignatura se basó en los siguientes puntos clave:

- Estructura organizada y atractiva. Tres bloques teóricos iniciales en los que se tratan diversos temas, y un trabajo final, que coincide con el final de los estudios del alumno y que es una gran oportunidad para emplear las capacidades adquiridas.
- Una dinámica de trabajo basada en el esfuerzo continuo de profesor y alumno, distante del formato

típico clase magistral en la que la interacción entre ambos es escasa.

- Elaboración de material por parte del profesor y trabajo de los alumnos a partir del material aportado.
- Seguimiento continuo del trabajo realizado.
- Flexibilidad de horarios y facilidades para compaginar la asignatura con las demás materias.

Esté trabajo es una exposición breve del resultado de una experiencia educativa innovadora, vista desde la perspectiva de un alumno.

**Palabras clave:** Investigación Operativa, innovación educativa, aprendizaje sinérgico.

## 1. INTRODUCCIÓN

Según Lawrence y Pasternak [1] la investigación Operativa se puede definir como:

*Un enfoque científico para la toma de decisiones ejecutivas que consiste en:*

- *El arte de modelar situaciones complejas,*
- *La ciencia para desarrollar técnicas de solución para resolver dichos modelos y*
- *La capacidad de comunicar efectivamente los resultados.*
- *Realizado por un grupo multidisciplinar.*

Es decir la investigación de operaciones esta orientada a proporcionar un apoyo **científico** a la **toma de decisiones**.

El término Investigación Operativa se utilizó por primera vez en 1936 al constituirse en la RAF (Royal Air Force, Fuerza Aérea Británica) un grupo de científicos encargados de estudiar las operaciones del Radar. Pero no sólo se acuñó el nombre de esta materia en el ámbito militar, durante la Segunda Guerra Mundial, la investigación de operaciones

alcanzó la madurez y su uso se extendió a otros sectores. Rápidamente se formaron grupos multidisciplinares dedicados a la IO en empresas y organismos públicos. Así entre 1945 y 1975 se da un período de crecimiento y estabilidad. La Investigación Operativa se convierte en un importante apoyo a la gestión en la Industria y otras organizaciones, se crean asociaciones profesionales y se integra en los programas académicos.

El gran desarrollo experimentado durante los años 80-90 por las tecnologías de la información y las comunicaciones y el desarrollo y la generalización del uso de equipos informáticos cada vez más potentes y asequibles favorecieron una rápida difusión de las técnicas de Investigación Operativa.[2] Una muestra de esta globalización es la integración de módulos de optimización y programación lineal en paquetes de uso tan extendido como Microsoft Excel que incorpora desde hace tiempo el módulo Solver de optimización lineal.

Éstas técnicas muestran un prometedor futuro en el que las técnicas de IO tomarán fuerza como parte integrante de las aplicaciones de Software de apoyo a la toma de decisiones.

Actualmente se emplean técnicas de IO en múltiples campos.

Por su naturaleza esta materia es de gran interés para la formación de un Ingeniero de Montes. Por ello se oferta como asignatura optativa en la E.T.S.I. Montes de la Universidad Politécnica de Madrid.

Generalmente el número de alumnos matriculados en esta asignatura es escaso y esto permite una relación profesor alumno muy cercana, imposible en otros casos y que permite realizar una enseñanza altamente personalizada.

La experiencia del curso 2005/2006 comenzó en octubre de 2005 con dos alumnos matriculados en la asignatura uno de ellos perteneciente al programa ERASMUS.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

La asignatura de Investigación Operativa se estructuró en cuatro partes. Las tres primeras partes fueron los tres bloques teórico-prácticos en los que se introdujo a los alumnos en diferentes temas de propios de la IO. La cuarta y última parte que cerró la asignatura consistió en un trabajo realizado por los alumnos, en el que la única restricción a la temática del mismo fue que se aplicasen o estudiasen técnicas propias de la Investigación de operaciones.

La asignatura se extendió a lo largo de todo el curso académico, esto unido a que el número de alumnos matriculados era bajo permitió flexibilizar los horarios al máximo. Las horas de clase se acordaban en la clase anterior en función de las disposiciones de tiempo de profesores y alumnos.

### 2.1. Bloque 1. Técnicas deterministas

En la primera parte se realizó una introducción a la Investigación Operativa y se trataron técnicas deterministas como:

- Programación lineal
- Programación entera
- Teoría de grafos

Las clases teóricas consistieron en exposiciones orales por parte de la profesora y apoyo con presentaciones en Power-Point a modo de hilo conductor de la exposición. Los

alumnos, por su parte, recibían las presentaciones impresas en papel junto a uno o dos textos cuya lectura era aconsejable, al comienzo de cada tema. Con este material se trataban en mayor profundidad las cuestiones teóricas de cada unidad didáctica.

Las cuestiones más aplicadas, se trataron en una sesión práctica. El desarrollo de esta sesión se centró en la resolución de problemas de programación lineal empleando para ello software comercial.

El software empleado fue LINDO, de amplia difusión, especialmente pensado para la resolución de problemas de programación lineal. [3]

LINDO es una potente herramienta de optimización. Su última versión, la versión 4.1, incorpora módulos de resolución de problemas lineales, problemas no lineales. Permite también plantear y resolver los problemas Primal y Dual así como resolver problemas de programación entera.

Proporciona también análisis de sensibilidad que permiten evaluar la solución obtenida.

Además de los distintos problemas que permite afrontar incluye módulos de preprocesamiento que permiten agilizar la resolución de los problemas que se plantean.

Por último se realizó un seguimiento de la forma en que los alumnos iban asimilando los conceptos tratados. Para realizar este seguimiento se entregaba a cada alumno un cuestionario en el que se le pedía que contestase a unas cuestiones teóricas y/o a unos pequeños supuestos prácticos. Además de las cuestiones propias del tema que se estuviese tratando, se pedía al alumno que indicase el tiempo que había dedicado a contestar el cuestionario y el tiempo que había dedicado a la lectura de los textos entregados durante las clases.

### 2.2 Bloque 2. Técnicas no deterministas

La segunda parte siguió un esquema similar a al del primer bloque. Con unas clases teóricas apoyadas con textos y presentaciones y unas sesiones prácticas enfocadas a la resolución de problemas relacionados con los temas tratados en teoría y empleando para ello Software comercial.

Esta segunda parte se centró en técnicas no deterministas de Investigación Operativa. El paso de uno a otro bloque no se realizó de una forma tajante y brusca. Se enlazó la teoría de grafos del primer bloque con las metodologías de control de proyectos basadas en redes de actividades, estas metodologías emplean elementos propios de la teoría de grafos bajo una óptica no determinista.

En este bloque se trataron los siguientes temas:

- Redes de control de proyectos.
- Procesos estocásticos.
- Series temporales.
- Teoría de juegos.

La sesión práctica consistió en el ajuste de modelos en series temporales empleando para ello el programa Statgraphics plus 5.1 en su bloque de análisis de opciones avanzadas: Series Temporales.[4]

Como trabajo previo, de preparación de la sesión práctica, los profesores elaboraron un guión en el que se explicaban los procedimientos que se debían seguir. Por su parte los alumnos eran los encargados de adquirir los datos necesarios para realizar la práctica.

### 2.3 Bloque 3. Simulación

La tercera parte de la asignatura se dedicó a la simulación. En este tercer bloque se alteró ligeramente el esquema de los anteriores. En lugar de una clase práctica se organizó una charla-conferencia en la que un experto en la materia, realizó una introducción a los fundamentos y la aplicación del “data-minig”.

En este tercer bloque se abordaron los siguientes temas:

- Introducción a la simulación.
- Fractales y aplicación a estudios del paisaje.
- Técnicas de optimización:
  - Algoritmos genéticos.
  - Búsquedas Tabú.
  - Simulated annealing.

Durante el desarrollo de este tercer bloque los alumnos eligieron el Simulated annealing técnica a estudiar durante el desarrollo del trabajo en grupo.

### 2.4 Bloque 4. Trabajo de grupo.

Si bien los tres primeros bloques estaban enfocados a introducir a los alumnos en la investigación operativa, el cuarto estaba orientado a que éstos profundizaran en los temas estudiados, adquirieran información sobre técnicas no incluidas en el temario o aplicaran los conocimientos adquiridos.

El hecho de no limitar la temática del trabajo y las propias características de la Investigación Operativa abrieron un gran abanico de posibilidades de interrelacionar conceptos propios de esta y otras materias fundamentales en la formación de un ingeniero forestal.

La técnica propia de la IO seleccionada para el desarrollo del trabajo fue el Simulated annealing.

El Simulated annealing es una técnica de optimización combinatoria que nos asegura encontrar aquella solución con mayor probabilidad de ser la mejor. Emula el proceso de enfriamiento de un metal en el que al ir bajando la temperatura la configuración de los átomos se hace más estable. Por tanto se establece una analogía entre soluciones y estados de los electrones del metal que se enfría; entre cambios en la solución y transiciones o cambios en las configuraciones electrónicas y entre valor de las soluciones y estados energéticos.

Establecidas las analogías entre ambos sistemas se procede a simular de forma iterativa las transiciones electrónicas (cambios en las soluciones) que tienen lugar durante el proceso de enfriamiento en el que la energía del sistema (Valor de la solución) desciende hasta alcanzar una configuración estable, (Solución Óptima o cercana al Óptimo).

A partir de una solución se generan soluciones parecidas o vecinas, que son aceptadas o rechazadas dependiendo del cambio de energía o valor que haya tenido lugar y de la temperatura que se asigne al sistema. Si durante el proceso de enfriamiento se dan transiciones entre configuraciones con distintos niveles energéticos en el proceso de búsqueda de soluciones se suceden soluciones con distinto valor. En ocasiones, durante el enfriamiento, las transiciones se dan hacia estados energéticamente superiores. Este tipo de transición aparece con una probabilidad que depende de:

- La temperatura
- La diferencia entre las energías del estado inicial y final.

De modo que siguiendo con el paralelismo establecido una solución, peor que la anterior, tiene una probabilidad de ser aceptada que es función de los parámetros anteriores. Así al durante el proceso iterativo se prueban soluciones nuevas que son aceptadas o no como solución inicial para el paso siguiente. Una solución se acepta en los siguientes casos:

- La función de valor se acerca al Óptimo. Paso a un nivel energéticamente inferior.
- En caso de alejarse del Óptimo se genera un número de forma aleatoria y se compara con la probabilidad de obtener una diferencia de valor similar a la que hemos obtenido. Si el número generado es menor que la probabilidad se acepta la nueva solución, si no se genera otra solución y se vuelve a comparar con la solución de partida.

La probabilidad de aceptar una solución peor es mayor si las temperaturas son altas. Así a medida que avanza el proceso, y la solución se acerca al óptimo” disminuye la temperatura de modo que disminuye la probabilidad de aceptar soluciones “peores”.

Este método tiene múltiples aplicaciones. En concreto en el sector forestal esta técnica se ha aplicado a la lucha contra incendios forestales, la planificación física, la clasificación de imágenes etc.[5],[6],[7],[8].

En concreto el trabajo de los alumnos se enfocó hacia las posibilidades de aplicación de este método a problemas de planificación física.

El trabajo consistió en un supuesto práctico en el que los alumnos exponían oralmente los resultados de sus procesos de búsqueda de información y proponían un método para la aplicación de esta técnica a la búsqueda de la distribución óptima de una serie de actividades en el territorio de un término municipal de la Comunidad de Madrid.

## 3. RESULTADOS

La asistencia a las clases teóricas fue del 90%. Los horarios se adecuaron a las necesidades de alumnos y profesores. La gran flexibilidad de horarios permitió a los alumnos asistir prácticamente a todas las clases. Sin duda fue un acierto extender la duración de la asignatura permitiendo que ocupase todo el curso académico pero sin aumentar el número de horas lectivas. Otras asignaturas optativas se desarrollan en un único cuatrimestre. Al concentrar los horarios en un único cuatrimestre las posibilidades de flexibilizar los horarios se hacen menores. Por otro lado desarrollando la asignatura a lo largo de todo el año se da tiempo para que los alumnos asimilen mejor los conceptos tratados .

Las calificaciones obtenidas fueron 8.5 y 10 en una escala de 0 a 10.

## 4. DISCUSIÓN

Una vez finalizado el curso hubo una conversación entre alumnos y profesores en la que, de modo informal dado que los alumnos eran tan solo dos, se habló sobre el desarrollo de la asignatura.

Respecto los bloques teóricos los aspectos mejor valorados fueron:

#### **Las facilidades de adaptar horarios**

La forma de organizar la asignatura extendiéndola en el tiempo y las facilidades dadas para encajar los horarios permitieron a los alumnos asistir a casi todas las clases y seguir de forma adecuada el desarrollo y el ritmo de la asignatura.

#### **El seguimiento continuo del trabajo y el nivel del alumno:**

Este seguimiento permite a los profesores conocer la realidad de la clase y a los alumnos les da una cierta seguridad saber que el profesor lleva un cierto seguimiento de su evolución.

#### **Estructura y organización de las asignatura:**

La estructura en bloques de la asignatura con tres bloques teóricos, con una parte práctica cada uno, enfocados a introducir en la IO a los alumnos y complementarios con el bloque final a realizar por éstos, se valoró también de forma positiva.

Por otro lado los aspectos del trabajo que los alumnos valoraron de forma más positiva fueron los siguientes:

#### **Procesos de búsqueda de información:**

El trabajo de los alumnos comenzó con un proceso de búsqueda de información, fundamentalmente a través de internet. La búsqueda de información exige que aquel que la realiza muestre actitud activa y crítica. Activa pues un proceso de este tipo implica un trabajo considerable de revisión de numerosos documentos y crítica porque los volúmenes de información que hay disponibles en internet suelen ser tan grandes que hay que seleccionar y desechar gran parte de la información y esta tarea exige actuar con criterio.

#### **Exposición oral del trabajo.**

La exposición de los trabajos realizados ante profesores y alumnos no es una práctica generalizada. Sin embargo suele valorarse positivamente por los alumnos y aunque suele suponerles un esfuerzo al que no están acostumbrados, el hecho de fomentar una serie de capacidades poco trabajadas durante el resto de la formación académica hace que la valoración de la experiencia sea mayoritariamente positiva.

#### **Posibilidad de interactuar con otras materias**

El campo de aplicación de la investigación operativa es muy amplio y permite interactuar con otras materias. Las restricciones a la temática del trabajo fueron escasas de forma la realización del mismo facilitó la integración con otras materias. La realización de este trabajo tiene lugar cuando el alumno ha cursado todas o casi todas las asignaturas de la titulación de modo que este trabajo se convierte en una excepcional oportunidad de síntesis. Además de profundizar en la investigación operativa el alumno puede manejar conceptos y conocimientos adquiridos durante el resto de su formación. La posibilidad de realizar un esfuerzo de síntesis, y permitir un enfoque multidisciplinar es uno de los aspectos mejor valorados por los alumnos.

Los profesores por su parte también valoraron de forma positiva la actitud de los alumnos y los conocimientos adquiridos por estos.

Las conclusiones que se extraen de esta experiencia son fundamentalmente positivas tanto para alumnos como para profesores que consideran que el modelo que se ha seguido para organizar la asignatura es claramente acertado.

Por un lado el alto nivel de asistencia a clase, 90% y por otro lado las buenas calificaciones obtenidas, son indicadores del grado de satisfacción de profesores y alumnos, con esta experiencia.

La forma de estructurar los contenidos y enlazarlos con un trabajo práctico de los alumnos y el tiempo de duración escogido son dos de los aspectos mejor valorados. Si bien es cierto que algunas de las cuestiones más apreciadas por los alumnos, como la flexibilización de horarios, están relacionadas con el hecho de ser un grupo de alumnos muy reducido, también es cierto que la organización de los contenidos y el calendario escogido son perfectamente compatibles con grupos más amplios.

La realización de los trabajos prácticos y la forma en que se plantearon fue muy bien recibida por los alumnos. La libertad y facilidades dadas, para elegir la temática, la posibilidad de aplicar los conocimientos adquiridos, las posibilidades de interactuar con otras materias y el preparar y realizar una presentación oral son desde el punto de vista de los alumnos aspectos muy positivos de esta experiencia educativa.

En definitiva, se considera que el modelo empleado es muy interesante a la hora de organizar una asignatura de este tipo, y que puede ser aplicado satisfactoriamente en otros lugares obteniéndose resultados similares.

## **6. REFERENCIAS**

- [1] Lawrence, J. A. y Pasternak, B. A. **Applied Management Science**. Wiley. 1998
- [2] Maroto, C; Alcaraz S; Ruiz R. Investigación Operativa. **Modelos y técnicas de Optimización**. Ed Universidad Politécnica de Valencia, 2002.
- [3] <http://www.lindo.com/>
- [4] Martín Fernández S. Ayuga Téllez E. González Fernandez C. Martín Fernández **Guía completa de Statgraphics**. Ed Díaz de Santos, Madrid 2001
- [5] Martínez-Falero J.E, Gonzalez-Alonso, J.E. **Quantitative Techniques in Landscape Planning**. Lewis Publishers Boca de Raton Florida 1997.
- [6] Downsland, K. & Adenso-Díaz, B., 2001, Diseño de Heurísticas y Fundamentos de Recocido Simulado, **Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial**, No. 20, pág. 34-52.
- [7] <http://sci2s.ugr.es/docencia/algoritmica/Tema08-Intensificacion-Diversificacion.pdf>
- [8] <http://www.ii.uam.es/~rcobos/teaching/esp/ia/busqueda-con-informacion-ejemplos.pdf>.

## **5. CONCLUSIONES**