

Empleo del ordenador como herramienta para las enseñanzas de Organización de la Producción y de Métodos Cuantitativos de Organización

Juan Ramón Figuera Figuera¹, Álvaro García Sánchez², Miguel Ortega Mier²

¹ Unidad Docente de Organización de la Producción. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Universidad Politécnica de Madrid. José Gutiérrez Abascal, 2. 28006 Madrid.

² Área de Ingeniería de Organización. Escuela Politécnica Superior. Universidad Carlos III de Madrid. Avenida de la Universidad, 30. 28911 Leganés (Madrid). alvaro.garcia@uc3m.es, miguel.ortega@uc3m.es

Resumen

En la presente comunicación se exponen la orientación y la secuencia de las enseñanzas de Organización de la Producción y de Métodos Cuantitativos de Organización en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid, y se explica por qué razones se consideró interesante emplear el ordenador como herramienta para dichas enseñanzas, aunque no fue posible hacerlo hasta casi diez años después de iniciadas por resultar prohibitivos los costes de los ordenadores y del personal técnico que era necesario entonces para manejarlos.

A continuación se describe cómo ha ido evolucionando, durante algo más de veinticinco años, la forma de emplear el ordenador en dichas enseñanzas, tratando siempre de aprovechar las oportunidades y de superar las dificultades que se han ido presentando al cambiar las circunstancias. También se presentan dos aplicaciones concretas que se están utilizando actualmente, tanto por los profesores en el aula para las clases de Programación Lineal Mixta y de Gestión del Mantenimiento respectivamente, como por los estudiantes para su trabajo individual de estudio de dichas materias y, finalmente, se sugieren algunas perspectivas para el futuro.

Palabras clave: Educación, mantenimiento, métodos cuantitativos, modelos, programación lineal

1. Antecedentes

En el Plan de Estudios de 1964 de la titulación de Ingeniero Industrial se creó la especialidad de Organización Industrial, en la cual aparecían por primera vez materias de “Investigación Operativa” (actualmente llamadas de “Métodos Cuantitativos de Organización”) y de “Organización de la Producción”. Desde entonces, con algunos cambios de extensión, número de asignaturas y denominación, han seguido formando parte de las enseñanzas de la especialidad en todos los planes de estudios posteriores.

Para impartir estas asignaturas se creó un “Grupo de Cátedra de Organización de la Producción”, que comenzó sus actividades en 1967, al llegar a cuarto curso la primera promoción de estudiantes de la nueva especialidad.

Por tratarse de nuevas materias dentro del plan de estudios de una especialidad también nueva, no existían precedentes que condicionaran decisivamente la orientación de sus

enseñanzas y, por tanto, quienes se hicieron cargo inicialmente de estos Grupos de Cátedra tuvieron la oportunidad de atender a sus propios criterios, en mucho mayor grado que el habitual, al establecer dicha orientación que, en el caso concreto de la ETSII de Madrid, se describe a grandes rasgos en el próximo apartado.

2. Orientación de las enseñanzas

Como punto de partida, se adoptaron las siguientes definiciones de objetivos fundamentales:

- Con el estudio de las asignaturas de “Organización de la Producción”, los estudiantes deben aprender a:
 - Identificar, plantear y resolver, utilizando métodos apropiados, los diferentes problemas de organización de los sistemas productivos, resultando útil distinguir:
 - problemas de diseño: elección, en cada caso, de la capacidad, localización, distribución en planta... y demás características del sistema.
 - problemas de funcionamiento: planificación, programación y control de las actividades, organización del trabajo, elección de las políticas de mantenimiento y renovación de los equipos e instalaciones...
 - Construir y manejar “modelos cuantitativos específicos”, cada uno de ellos dedicado expresamente a resolver exclusivamente uno de los tipos de problemas de organización que se plantean en determinados sistemas productivos (por ejemplo, como veremos, el de evaluar y comparar diversas políticas de mantenimiento).
- Con el estudio de las asignaturas de “Métodos Cuantitativos de Organización Industrial”, los estudiantes deben aprender a:
 - Manejar un conjunto de métodos cuantitativos (de Programación Matemática, de Simulación, de Teoría de la Decisión, de Teoría de Colas...) todos ellos de “amplio espectro” de aplicaciones, acreditado por la existencia de numerosas referencias de su empleo para resolver problemas prácticos de organización muy diversos, no sólo del área funcional de producción sino también de las de recursos humanos, comercial, financiera... e incluso, a veces, del ámbito de la dirección general.
 - Utilizar estos métodos cuantitativos de amplio espectro para resolver problemas de organización, lo que requiere, a su vez, aprender a:
 - identificar, ante un problema de organización, cuál o cuáles de dichos métodos cuantitativos podrían servir para resolverlo.
 - construir un modelo que represente adecuadamente el problema de organización en términos del método cuantitativo elegido.
 - determinar, con ayuda del método cuantitativo, soluciones óptimas o satisfactorias del modelo, interpretar lo que significan esas soluciones en términos del sistema productivo real, explorar otras alternativas y discutir sus implicaciones, ventajas e inconvenientes

3. Secuencia de las enseñanzas

De acuerdo con nuestra experiencia, resulta conveniente, salvo en el caso de los “métodos cuantitativos específicos”, estudiar en primer lugar los métodos cuantitativos, pero procurando sistemáticamente asociar una interpretación concreta, en términos de

organización, a las explicaciones teóricas y a los ejercicios o problemas matemáticos que se usen para aclarar dichas explicaciones y para aprender a aplicar los métodos en cuestión.

De hecho, esta alusión sistemática a la interpretación, en términos de organización, de los distintos aspectos de los métodos cuantitativos de organización, no es sino un reflejo de su carácter instrumental para los ingenieros de Organización Industrial, para los cuales, por ejemplo, la Programación Lineal es interesante, precisamente, porque puede servir para construir modelos aplicables a la resolución de problemas de organización.

Por otro lado, debido a la imposibilidad de contar con ordenadores para las enseñanzas durante los primeros años de funcionamiento de la cátedra, se decidió distinguir, tanto para las explicaciones en clase como para los exámenes, dos tipos de problemas:

- “De técnicas” que sirven para aprender los métodos de la programación lineal y, por su dimensión muy pequeña, pueden resolverse sin ordenador, pero que, por eso mismo pueden dar una impresión engañosa de la complejidad de los problemas de organización reales abordables mediante la programación lineal. Sirven para aprender a aplicar las técnicas correspondientes y pueden resolverse a mano, pero su planteamiento es trivial y poco interesante.
Sin embargo, puesto que estudiar de la “programación lineal” nos interesa porque puede aplicarse para resolver cuantitativamente problemas de organización, debe pues ser posible, para un problema matemático de programación lineal:
 - Hallar ejemplos de problemas de organización para los que pueda servir de modelo.
 - Interpretar, en términos de los problemas de organización utilizados como ejemplos de aplicación, lo que sucede al resolver el problema matemático.
 - Por estas razones, para motivar a los estudiantes al explicar los fundamentos y las técnicas de Programación Lineal:
 - se supone que cada problema considerado es un modelo lineal de algún problema práctico sencillo, por ejemplo, en el caso de un pequeño taller, elegir los productos más ventajosos y calcular las cantidades de cada uno de ellos que conviene producir y vender por unidad de tiempo.
 - se interpretan sistemáticamente, en términos de dicho problema práctico, los pasos que se dan en la resolución del problema matemático que está sirviendo de modelo.
- “De planteamiento”, consistentes en construir modelos de programación lineal y mixta de problemas de localización, de planificación de la producción, de elección de procesos o de fuentes de aprovisionamiento, de decisión de producir o comprar... Estos problemas de organización, de dimensión y complejidad suficiente para apreciar el interés y las dificultades de construir modelos de este tipo para problemas reales de las empresas:
 - Sirven para aprender a construir modelos lineales de problemas interesantes razonablemente complejos, pero resolverlos a mano resulta prácticamente imposible porque requeriría un tiempo excesivo.
 - Permiten a los estudiantes apreciar por sí mismos, sin tener que esperar meses o años, “para que sirven” los métodos cuantitativos que están estudiando.

En definitiva, al llegar a las asignaturas de Organización de la Producción los estudiantes:

- Cuentan con un bagaje considerable de métodos cuantitativos “de amplio espectro”.
- Están ya familiarizados con algunos de los problemas que van a estudiar más a fondo.
- Siguen estudiando, los “métodos cuantitativos específicos” correspondientes a los distintos tipos de problemas de organización.

4. Razones por la que resulta interesante emplear el ordenados como herramienta para las enseñanzas de Organización de la Producción y de Métodos Cuantitativos de Organización

Por lo pronto, desde el primer momento resultaba evidente que disponer de ordenadores y de programas adecuados facilitaría, por ejemplo, el aprendizaje de las técnicas matemáticas de programación lineal, resolviendo a mano y con el ordenador los problemas “de técnicas” a los que acabamos de aludir, y comparando los resultados. Además, permitiría resolver los problemas más complejos “de planteamiento”, analizar y discutir las soluciones.

Por otro lado la aplicación de métodos cuantitativos tanto de “de amplio espectro” como “específicos”, a los problemas prácticos de las empresas:

- Suele implicar volúmenes de cálculo considerables, incluso para problemas de dimensión relativamente modesta.
- Resulta pues prácticamente imposible sin ayuda de ordenadores de potencia suficiente.

Por lo tanto, los futuros ingenieros de organización que tuvieran oportunidad de aplicar en su trabajo métodos cuantitativos de organización, lo harían con ayuda de ordenadores, por lo que, muy esquemáticamente, podía ya apreciarse que es interesante utilizar el ordenador para las enseñanzas de Organización de la Producción y de Métodos Cuantitativos de Organización, poniendo su capacidad de cálculo al servicio tanto de los profesores como de los estudiantes, por la misma razón por la que interesa utilizar un automóvil para enseñar y para aprender a conducir, o una piscina para enseñar y para aprender a nadar...

Sin embargo, a finales de los sesenta, cuando se iniciaron las enseñanzas de la Cátedra resultaba impensable que pudiera contar con los recursos humanos y materiales necesarios, por aquel entonces, para emplear el ordenador como herramienta para sus enseñanzas.

Asimismo, para las medianas y pequeñas empresas, los altos costes de los ordenadores relativamente potentes, y del personal técnico necesario para manejarlos, eran prohibitivos y, durante muchos años, las aplicaciones civiles de los métodos cuantitativos de organización desarrollados con fines militares durante la Segunda Guerra Mundial sólo estuvieron al alcance de las grandes multinacionales y, algo después, de otras grandes empresas como las pioneras españolas de los sesenta: CEPESA, ENSIDESA, Altos Hornos de Vizcaya...

Sin embargo, este obstáculo perdió importancia rápidamente a partir de los setenta, debido a los extraordinarios avances de la informática en tres frentes complementarios:

- Aumento de la potencia de los ordenadores.
- Reducción de su precio de compra y de sus costes de explotación.
- Mejora de su usabilidad al aparecer nuevos dispositivos de entrada y salida... y, sobre todo, lenguajes de alto nivel.

Como consecuencia, al hacerse más asequible el uso del ordenador, se facilitó su empleo para la aplicación de métodos cuantitativos de organización, que se ha ido extendiendo desde entonces a muchas empresas, ya no sólo grandes sino también medianas e incluso pequeñas.

Asimismo, con cierto retraso, se pudo también empezar a emplear el ordenador para las enseñanzas de la cátedra, de varias formas distintas que, como veremos a continuación, han ido evolucionando en función de las circunstancias durante los últimos veinticinco años.

5. Evolución del empleo del ordenador en las enseñanzas de los métodos cuantitativos de organización en la ETSII de Madrid

5.1. Etapa inicial, de 1977 a 1983, del IBM 5110

A finales de los setenta IBM lanzó al mercado una familia de ordenadores, los 5100, con una serie de características muy interesantes para su aplicación a la enseñanza:

- Tenían un precio que hoy parecería exorbitante pero, sin embargo, mucho más bajo que el de cualquier otro ordenador de la época.
- Eran “de sobremesa” pero “portátiles”, porque pesaban unos diecisiete kilos y cabían en una maleta de cuero de buen tamaño que podía comprarse con el ordenador.
- Llevaban una pequeña pantalla, pero podían conectarse a unos monitores de unas 20 pulgadas, fabricados por ENOSA, no muy caros y que podían llevarse del despacho de la cátedra al aula y viceversa (preferiblemente entre dos personas robustas).
- Tenían una memoria central de 32 K, pero el que compró la cátedra fue un 5110 con memoria ampliada a 48K.

De todos modos, no hubiera sido posible adquirirlo si no fuera porque IBM tuvo la idea de encargar a unos profesores de la Cátedra de Matemáticas:

- Unos programas que los vendedores de la empresa pudieran utilizar para demostrar lo que podía hacerse con el 5110.
- Un manual de iniciación a la programación en el Basic incorporado en el ordenador.

Estos profesores se pusieron a su vez en contacto con la Cátedra de Organización de la Producción, que finalmente se encargó de redactar dicho manual y de colaborar con los profesores de matemáticas en la preparación de un programa, escrito en APL, para resolver problemas de programación lineal aplicando el método del simplex.

Como pago por estos trabajos, y con una pequeña pero necesaria ayuda de la Escuela, la cátedra adquirió un 5110 y un monitor de ENOSA, y heredó, de un laboratorio de la Escuela, otro monitor que había sido sustituido por uno más moderno, pero se podía seguir utilizando.

Por otro lado, al recibir los programas que había encargado, IBM pidió que se hiciera una demostración con cada uno de ellos a los vendedores del 5110 en Europa, y a Juan Ramón Figuera le correspondió el programa de aplicación del método del simplex.

Para presentar la programación lineal a un grupo de vendedores, de formaciones muy diversas, sin aburrirles mortalmente, se le ocurrió plantear el caso de un alfarero que quiere:

- Elegir, dentro de su gama de productos, los que más le conviene hacer.
- Determinar cuantas unidades semanales debe producir de cada uno de esos productos.

Para estudiar el caso, se llevó al aula no sólo el ordenador y el monitor sino también unos cuantos objetos de cerámica popular, para que se viera físicamente de qué dependen los tiempos necesarios para moldear y para pintar una unidad de cada objeto, cómo influye la tecnología utilizada en la calidad de los productos, en el ritmo de producción...

La experiencia fue probablemente positiva para los vendedores de IBM, que desde luego no se aburrirían, y vieron cómo se puede construir un modelo lineal para resolver un problema concreto y, además, cómo usarlo para responder a preguntas interesantes, por ejemplo:

- ¿A partir de qué precio unitario tiene cuenta adquirir cantidades adicionales de un recurso, y a partir de qué cantidad adicional deja de ser interesante adquirir aún más?
- ¿Qué quiere decir que un producto es “complementario” de otro, y qué ventajas puede tener la “diversificación” basada en añadir a la gama de productos actuales otros nuevos complementarios de los anteriores?
- ¿Qué ahorro por semana representa una determinada reducción del tiempo necesario para ejecutar una tarea, por ejemplo moldear uno de los productos del alfar?
- ¿Qué ventajas puede tener que los trabajadores, en vez de ser “especialistas” que pueden dedicarse unos exclusivamente a moldear y otros exclusivamente a pintar, sean por el contrario “polivalentes” es decir, en este caso, alfareros que pueden dedicarse a moldear o a pintar según convenga?

Este fue el origen de la llamada “práctica de los cacharritos” con la que se ha dado la bienvenida a más de veinte promociones de estudiantes de la especialidad de Organización Industrial de la ETSII de Madrid, a participantes en cursos de tercer ciclo y en programas para directivos en varios centros de España, de Portugal, de Polonia...

Para ampliar a otros métodos cuantitativos esta utilización por el profesor del ordenador en el aula se necesitaban, evidentemente, los programas correspondientes. Por eso, durante años, varios estudiantes destacados y especialmente interesados por los métodos cuantitativos y su enseñanza, desarrollaron, como Proyecto Fin de Carrera, programas aplicables con el 5110. Por no citar más que dos ejemplos, Gil Gutiérrez desarrolló un programa para aplicar otros métodos de programación lineal (Gutiérrez 1978), y Luis Miguel Arreche otro para aplicar métodos de Programación Lineal Multiobjetivo. Además, Juan Ramón FIGUERA empezó a desarrollar programas para evaluar y comparar políticas por un lado de renovación de equipos y, por otro lado, de mantenimiento, y a utilizar en clase este último programa desde 1981.

Además, se comenzó a emplear el ordenador para que los estudiantes hicieran prácticas. En efecto, la especialidad de Organización Industrial era ya casi todos los años la de mayor número de alumnos, pero éste distaba aún mucho de las cifras de mediados de los 80, lo que permitió organizar prácticas por grupos de dos a cuatro alumnos, que resolvían problemas con ayuda del 5110 y de los programas que iban estando disponibles. Para muchos de nuestros estudiantes de aquella época, ésta fue su primera oportunidad de trabajar con un ordenador...

5.2. Segunda etapa, de 1983 a 1990

La acelerada evolución de la informática, que afectó tanto a los equipos como a los sistemas operativos y los lenguajes y herramientas de programación, eliminó del mercado al 5110 al aparecer nuevos equipos cada vez más potentes y con precios más bajos.

Paralelamente el aumento de los medios disponibles en la Universidad, y en particular en la cátedra, permitió ir adquiriendo, aunque todavía muy poco a poco, nuevos equipos. Además, empezaron a aparecer herramientas, como las hojas de cálculo, que en ciertos casos facilitan mucho la programación. En cambio, como efecto negativo de la evolución de la informática, hubo que dedicar bastante trabajo a, “traducir” a nuevos lenguajes los programas en el BASIC y el APL del 5110.

En todo caso en la cátedra se siguieron desarrollando, como Proyectos Fin de Carrera, como trabajos de profesores, y como parte de algunas tesis doctorales, programas para aplicaciones diversas: del método de decisión multiobjetivo ELECTRE, de varios modelos de gestión de stocks, de métodos de determinación de rutas de distribución...

También se empezaron a hacer, por encargo de empresas, varias aplicaciones de métodos cuantitativos a problemas reales de producción y de logística.

Sin embargo, el número de estudiantes de la especialidad hizo imposible que todos ellos hicieran prácticas por falta de ordenadores, locales adecuados y profesorado suficiente.

5.3. Tercera etapa, de 1990 a 1998

Llega el momento en que resulta posible dotar a la cátedra de varios ordenadores dedicados a prácticas de los estudiantes. Sin embargo, el número de alumnos de la especialidad sigue haciendo inviable imponer estas prácticas con carácter obligatorio, por lo que tienen en general carácter voluntario. aunque son muchos los estudiantes que utilizan los equipos de la cátedra no sólo para realizarlas sino para sus proyectos fin de carrera y trabajos de doctorado.

Aparecen cada vez más libros con programas que permiten aplicar algunos de los métodos cuantitativos incluidos en el texto, haciendo posible que profesores y estudiantes utilicen programas sin tener que desarrollarlos previamente lo que, por el contrario, resultaba inevitable cuando sólo se contaba con el 5110, para el cual no existían prácticamente programas de interés para las enseñanzas de métodos cuantitativos de organización

Un caso particular importante es la “práctica” de la asignatura “Métodos Cuantitativos de Organización Industrial I”, que se sigue utilizando actualmente, y que consiste en plantear, y resolver con ayuda del programa “ORSTAT” (Kalvelagen y Tijms 1990) uno o dos casos de problemas de organización de la producción y logística relativamente complejos, abordables con ayuda de la programación lineal mixta.

El enunciado de esta práctica se incluye en la documentación de la asignatura, y la solución propuesta debe entregarse antes del examen final, es decir al cabo de varios meses, lo que deja a cada estudiante un amplio margen para utilizar los ordenadores de la cátedra.

Aparecen en el mercado aplicaciones informáticas comerciales muy costosas, pero que ofrecen a los centros de enseñanza, a precio muy reducido, versiones de capacidad limitada,

insuficiente para problemas reales, pero que pueden servir perfectamente para que los estudiantes manejen, aplicándolas a problemas de dimensión modesta, las herramientas que encontrarán en su actividad profesional al salir de la Escuela.

Lo mismo ocurre con varios lenguajes de simulación, que pueden servir como ayuda para el profesor en el aula, y para realizar trabajos por encargo de empresas, prácticas de los estudiantes, proyectos fin de carrera, tesis doctorales...

5.4. Cuarta etapa, a partir de 1998

En 1998 la Dirección de la ETSII lanzó, con ayuda económica de la Fundación para el Fomento de la Investigación Industrial y de la Asociación de Amigos de la Escuela, un “Programa para la mejora de la enseñanzas Prácticas basadas en el AUToAprendizaje”, “P.AUT.A”, para promover proyectos, desarrollados por profesores de la Escuela, para introducir innovaciones en los métodos de enseñanza, en particular en las prácticas.

Juan Ramón Figuera obtuvo sucesivamente dos de dichas ayudas, que permitieron adquirir algún material y, sobre todo, contar con varios becarios, entre ellos Miguel Ortega y Álvaro García, dando un gran impulso al uso del ordenador como herramienta para las enseñanzas (García 2000, Ortega-Mier 2000).

Por lo pronto, se hicieron nuevas versiones en Visual Basic de los programas de programación lineal mixta, de mantenimiento y de renovación de equipos, con gráficos, pequeñas animaciones, etc., que ayudan mucho a comprender las explicaciones del profesor, o los pasos que está dando el propio alumno cuando es él quien está trabajando con el ordenador.

Además, se ampliaron los programas anteriores, por ejemplo:

- Desarrollando un programa para aplicar la programación lineal multiobjetivo, “Goal Programming”, como extensión del programa de programación lineal y mixta.
- Añadiendo, en el programa de evaluación y comparación de políticas de mantenimiento. otro conjunto de políticas además del incluido previamente

En definitiva, en estos momentos se cuenta no sólo con programas de procedencias diversas que pueden emplearse útilmente para las enseñanzas de programación y control de proyectos, de simulación..., sino también con programas desarrollados específicamente para ciertas enseñanzas de la cátedra, como los dos que vamos a considerar a continuación.

Por otro lado, las limitaciones del laboratorio de la cátedra y el elevado número de sus alumnos ya no impiden a éstos utilizar personalmente los programas porque, de acuerdo con las encuestas realizadas por la cátedra a finales de los 90 con motivo del programa PAUTA, una amplia mayoría tiene ya fácil acceso a un ordenador en su domicilio, y, además, la Escuela cuenta con aulas dotadas de ordenadores a disposición de los estudiantes. En cambio, es importante que los profesores utilicen los programas en clase no sólo como ayuda para sus explicaciones sino también para que los estudiantes se familiaricen con dichos programas y aprendan a manejarlos ellos mismos.

6. Programa “Programación Lineal”

Específicamente diseñado para su aplicación a la enseñanza, el programa “Programación Lineal” tiene varias opciones que carecerían de sentido en un programa cuya finalidad fuera únicamente aplicar la programación lineal a la resolución de problemas de organización.

Por no dar más que dos ejemplos, una opción permite al usuario, dado un cuadro del simplex, elegir el pivote para pasar al próximo cuadro, y ver cuál es el resultado. Además, otra opción permite, mediante un “gráfico animado”, visualizar la evolución de las variables y de la función económica al pasar de un cuadro al siguiente.

La aplicación del ordenador con el programa “Programación Lineal” como herramienta para la enseñanza de la programación lineal se puede hacer de varias formas:

- Por el profesor en el aula, para:
 - Hacer ejercicios que faciliten el aprendizaje del método del simplex, utilizando los que en el apartado 3. hemos denominado “problemas de técnicas”, de dimensión muy pequeña, para que puedan verse los cuadros correspondientes en la pantalla. De esta forma, al no tener que ir realizando a mano los cálculos, y aprovechando las opciones del programa, el profesor puede, en muy poco tiempo, hacer varios ejercicios que considere útiles para:
 - Ilustrar con ejemplos la “demostración constructiva” del Teorema Fundamental de la Programación Lineal, comprobando que, a menos que la función económica no sea acotada, es posible, partiendo de una solución no básica factible, llegar a una solución básica factible equivalente o superior.
 - Comprobar que, cuando se aplican correctamente las reglas de introducción y de supresión a partir de una solución básica factible que, de acuerdo con la regla de optimalidad, no es óptima, se llega a una nueva solución básica factible equivalente o superior.
 - Hacer ver el efecto de un error al aplicar la regla de introducción sobre el valor de la función económica, y el efecto de un error al aplicar la regla de supresión sobre la factibilidad de la nueva solución básica.
 - A la vista de un cuadro del simplex, predecir, o preguntar a los alumnos, cuál será alguno de los valores que aparecerán en el siguiente cuadro y, luego, pasar a dicho cuadro y ver cuál es realmente el valor que aparece.
 - Comprobar la interpretación económica del “precio sombra” de un recurso viendo cómo cambia la función económica al variar la disponibilidad de dicho recurso...
 - Estudiar casos más complejos, como los que en el apartado 3. hemos denominado “problemas de planteamiento” que, por su dimensión relativamente grande, no pueden resolverse a mano, ni utilizarse como los anteriores para estudiar los cuadros del simplex, que no pueden verse bien en la pantalla. Sin embargo, precisamente por su mayor complejidad, resulta muy interesante estudiar estos problemas, plantearse preguntas como las indicadas al hablar de la “práctica de los cacharritos” en el apartado 5.1., y aprovechar la potencia del ordenador para hallar casi instantáneamente las respuestas, analizarlas y discutir las a su vez, plantearse nuevas preguntas..., lo que sin el ordenador sería absolutamente imposible.

- Por el alumno, en el laboratorio de la cátedra, en un aula informática de la Escuela o en su casa, para:
 - Emplear el programa, ya conocido porque ha visto al profesor usarlo en clase, para ejercitarse aplicando el método del simplex a problemas de pequeña dimensión, comprobar si las soluciones que ha calculado a mano son correctas... reforzar los conocimientos adquiridos y aclarar él mismo sus dudas sobre los efectos de los errores, la interpretación de los valores que aparecen en los cuadros...
 - Estudiar problemas más complejos, comparando, por ejemplo, la solución a la que se llega con un planteamiento correcto visto en clase y con otros distintos, para ver los efectos de los errores de planteamiento.
 - Hacer, usando la correspondiente opción del programa, una autoevaluación para comprobar que ha entendido los conceptos fundamentales de esta materia.

7. Programa “Gestmant para la evaluación y selección de políticas de mantenimiento”

Los modelos cuantitativos específicos utilizados en el programa Gestmant sirven para la evaluación y selección de políticas de mantenimiento de elementos o equipos industriales, (que denominaremos “unidades” y que forman parte de un “sistema” más amplio), en función de las características de las unidades, en particular su fiabilidad, y de los costes para el sistema de una avería y de una operación de mantenimiento preventivo. Parten de un conjunto de hipótesis que limitan su aplicación a las situaciones reales en que sean admisibles dichas hipótesis. Sin embargo el verdadero objetivo de los modelos de Gestmant es:

- Mostrar en qué consisten los diferentes tipos de políticas de mantenimiento (correctivo, preventivo periódico total o periódico selectivo en función del tiempo de funcionamiento sin fallo que lleve cada elemento al llegar el momento del mantenimiento preventivo, preventivo en función de los resultados de una inspección periódica...).
- Poner de manifiesto, al estudiar cada tipo de políticas de mantenimiento, las ventajas que podrían tener otros tipos de políticas, lo que permite ir “redescubriendo” de forma intuitiva y natural, la evolución que ha seguido el mantenimiento en la industria durante los últimos cien años, incorporando sucesivamente políticas que permitan reducir más el número de averías a medida que éstas se van haciendo más costosas, y comprender la lógica en la que se basa cada uno de los pasos de dicha evolución.
- Ante todo, se considera la alternativa más sencilla, consistente en reparar las unidades a medida que se averían (mantenimiento solamente correctivo). Al estudiar la evolución del número de averías por unidad de tiempo con el transcurso del tiempo, se observa que tiende a un cierto valor límite estable que representa el número de averías por unidad de tiempo en “régimen permanente”.
- Además, cuando se aplica la política anterior a partir de un estado inicial en que todos los elementos están nuevos, el estudio de los números de averías por unidad de tiempo muestra generalmente que el valor medio de unos cuantos de los primeros periodos de funcionamiento es inferior al correspondiente al régimen permanente. Por lo tanto si, además de seguir reparando inmediatamente las averías que se vayan produciendo, se someten a mantenimiento preventivo todas las unidades al cabo de un cierto número de periodos (mantenimiento preventivo periódico total), es posible reducir el número medio de averías por unidad de

tiempo, y esta reducción de las averías puede a veces compensar con creces el coste del mantenimiento preventivo.

- El resultado puede ser incluso mejor si el mantenimiento preventivo periódico se hace de forma selectiva, sin afectar a las unidades que lleven poco tiempo de funcionamiento sin fallos (mantenimiento preventivo periódico en función del tiempo de funcionamiento sin fallos). De hecho, casi siempre hay algún estudiante que se extraña de que se sometan a mantenimiento preventivo unidades que están como nuevas porque acaban de ser reparadas.
- Finalmente, cuando los alumnos están suficiente preparados y familiarizados con los modelos, se propone un último grupo de políticas consistente en someter a las unidades a algún tipo de inspección, en función de cuyo resultado se las somete o no a una operación de mantenimiento preventivo. En este tipo de políticas de mantenimiento preventivo en función de los resultados de una inspección periódica, los modelos permiten, en primer lugar, establecer medidas de la calidad del proceso de inspección; y en segundo lugar, estudiar los efectos de las inspecciones y, en su caso, de las posteriores operaciones de mantenimiento preventivo, sobre el funcionamiento del sistema considerado.

Además, aunque estos modelos están diseñados para tratar unos tipos de políticas bien determinados, con su ayuda pueden estudiarse también otras políticas algo distintas. Es posible, por ejemplo, investigar los efectos, y las posibles ventajas e inconvenientes, de someter a un ‘rodaje’ a las unidades, antes de incorporarlas al sistema estudiado, o estudiar cómo coordinar las políticas de mantenimiento de dos sistemas cuyas importancias relativas son distintas, etc. De esta forma, los alumnos tienen la oportunidad de comprobar cómo pueden utilizarse modelos “específicos” como ayuda para resolver problemas diferentes de aquellos para cuya resolución se construyeron inicialmente.

En definitiva el estudio de estos modelos permite a los estudiantes comprender la lógica de un amplio abanico de posibles políticas de mantenimiento, de manera que, si en el futuro se enfrentan a situaciones algo distintas, puedan elaborar modelos similares pero específicamente diseñados para que respondan a las peculiaridades de cada caso particular

El programa Gestmant, desarrollado con Visual Basic para la docencia en clase y para el trabajo individual de los alumnos, permite obtener de forma sencilla los resultados de la aplicación a un sistema de cualquiera de las políticas consideradas en los modelos. La utilización de Gestmant ofrece ventajas en dos sentidos:

- Desde el punto de vista de su utilización en el aula, permite al profesor:
 - Efectuar ante los alumnos y discutir con ellos los cálculos necesarios para estudiar una determinada política.
 - Una vez entendidos dichos cálculos por los alumnos, obtener resultados de forma rápida y sin emplear tiempo en la realización de operaciones, lo que no contribuye al proceso de aprendizaje sino que lo entorpece.
 - Como consecuencia, emplear una mayor parte del tiempo a explorar diferentes alternativas, o a profundizar en el análisis de las consecuencias de la aplicación de diferentes políticas...
- Desde el punto de vista del trabajo individual del alumno, Gestmant facilita el aprendizaje permitiéndole:
 - Comprobar si es capaz de realizar los cálculos instrumentales de forma correcta.

- Como en el caso anterior, estudiar en un tiempo relativamente breve las consecuencias de la aplicación de diferentes políticas, lo que sería imposible sin ayuda del ordenador.

La experiencia de muchos años de utilización de los programas que le han precedido y del propio Gestmant ha sido muy positiva, tanto en las asignaturas de organización de la Producción de diversas especialidades de la ETSII de Madrid como en muchos otros cursos impartidos en España y en el extranjero.

8. Perspectivas para el futuro

Como hemos visto, varias circunstancias parecen favorecer el uso creciente del ordenador para las enseñanzas en general, y en particular para las de métodos cuantitativos de organización:

- Existen cada vez más programas a los que puede accederse comprando libros, adquiriendo versiones para enseñanza de programas comerciales, o gratuitamente a través de intercambios o de internet.
- El acceso de los estudiantes a ordenadores se ha facilitado tanto que ya no representa un obstáculo importante.

Sin embargo, el desarrollo propio por algunos profesores, o bien por estudiantes o becarios supervisados por ellos, de programas diseñados específicamente para facilitar las explicaciones en el aula y el aprendizaje por parte de los alumnos, siempre ha sido en nuestro caso, según el decir popular, “ni agradecido ni pagado”, y requiere cada día más esfuerzo y tiempo debido, un tanto paradójicamente, a los constantes avances de la informática.

En efecto, estos avances tienen la ventaja de ofrecer cada vez más posibilidades, a veces de interés dudoso, pero también traen consigo inconvenientes. Por ejemplo, en principio, los cambios incesantes de sistemas operativos no debieran impedir el uso de versiones “antiguas” de Visual Basic, pero en la práctica no siempre es así, lo que obliga a un trabajo incesante de “retoque” y tarde o temprano, de “traducción” a una nueva versión del lenguaje utilizado, o incluso, a un nuevo lenguaje.

Naturalmente, esto resulta muy positivo para quienes desarrollan programas para venderlos, pero muy negativo para quienes los desarrollamos para facilitárselos gratuitamente a nuestros estudiantes.

En definitiva, si no se valora, y se retribuye, el trabajo de desarrollar y aplicar programas que faciliten el aprendizaje, existe un cierto riesgo de que los relativamente pocos profesores que lo realizan acaben dedicándose a otras actividades más prestigiosas y lucrativas...

Bibliografía

- Kalvelagen, E., H. Tijms, (1990). Exploring Operations Research and Statistics in the Microlab. Prentice-Hall. New Jersey.
- García Sánchez, Álvaro (2000). Aplicación informática para la enseñanza de la gestión del mantenimiento de equipos industriales. Proyecto final de carrera. ETSII. Madrid.
- Gutiérrez Casas, Gil (1978). Programas en lenguaje A.P.L. de aplicación para la enseñanza de la Programación Lineal. Proyecto final de carrera. ETSII. Madrid.
- Ortega Mier, Miguel (2000). Aplicación informática para la enseñanza de la renovación de equipos Proyecto final de carrera. ETSII. Madrid.