



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

Planificación de docencia en un departamento universitario



UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

Escuela de Ingenierías Industriales

Grado en Ingeniería en Organización Industrial

Tutor: José Alberto Araúzo Araúzo

Dpto. de Organización de Empresas y C.I.M.

Valladolid 2017

Alina Santos Vega



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería en Organización Industrial

Planificación de la docencia en un departamento universitario

Autor:

Santos Vega, Alina

Tutor:

Araúzo Araúzo, José Alberto

Dpto. de Organización de Empresas y C.I.M.

Valladolid, Julio de 2017

A mi familia, por el apoyo incondicional, el cariño y la paciencia que han tenido conmigo durante todos estos años.

A mis amigas, por estar a mi lado en los buenos momentos y no dejarme en los malos, aun estando a 700 km de distancia.

A mi novio, por darme fuerzas cuando mi voluntad fallaba y no dejar que me rindiera. Eres mi principal apoyo.

A mi tutor, José Alberto Araúzo, por todo el tiempo y la ayuda que me ha dedicado.

Y por último, a mi compañero Javi, por los conocimientos transmitidos y la ayuda prestada.

Índice

Resumen.....	13
1. Introducción	15
1.1. Justificación y objetivos.....	16
1.2. Contenido de la memoria.....	18
2. Gestión en las Universidades.....	19
2.1. Decisiones estratégicas	21
2.1.1. Concepto de estrategia.....	21
2.1.2. Niveles de estrategia	23
2.2. Proceso de dirección estratégica.....	25
2.2.1. Concepto	26
2.2.2. Análisis estratégico.....	27
2.2.3. Formulación de estrategias.....	39
2.2.4. Implantación de estrategias.....	41
2.3. Plan Estratégico de la Universidad de Valladolid.....	44
3. Plan de Organización Docente	47
3.1. Primera etapa	48
3.2. Segunda etapa.....	50
3.3. Tercera etapa.....	51
3.4. Documento de plantilla del Personal Docente e Investigador.....	52
3.4.1. Capacidad docente	52
3.4.2. Capacidad Docente Efectiva	54
3.4.3. Encargo docente	56
3.4.4. Necesidades docentes	58
3.4.5. criterios de asignación.....	58

VIII

4. Investigación operativa.....	61
4.1. modelos en investigación operativa.....	61
4.1.1. construcción de modelos.....	62
4.2. tipos de problemas.....	63
4.3. técnicas de resolución.....	64
4.3.1. Teoría de juegos.....	64
4.3.2. Teoría de colas.....	66
4.3.3. Teoría de grafos.....	67
4.3.4. CPM y PERT.....	68
4.3.5. Probabilidad y estadística.....	69
4.3.6. Cadenas de Markov.....	70
4.3.7. Programación dinámica.....	71
4.3.8. Programación no lineal.....	72
4.3.9. Programación lineal.....	73
5. Metodología propuesta.....	81
5.1. Modelo matemático.....	91
6. Pruebas y resultados.....	93
6.1. Primera prueba.....	93
6.1.1. Análisis de sensibilidad.....	96
6.2. Segunda prueba.....	103
6.3. Tercera prueba.....	105
6.3.1. Análisis de sensibilidad.....	107
7. Estudio económico.....	111
7.1. Descripción de las etapas de desarrollo.....	111
7.2. Cálculo de los costes.....	112
7.2.1. Costes de personal.....	113
7.2.2. Costes de amortización.....	117
7.2.3. Costes de material.....	118
7.2.4. Costes generales.....	119

7.3. Costes totales	120
7.4. Cálculo del precio de venta del trabajo	122
8. Conclusiones y líneas de trabajo futuras	123
8.1. Conclusiones.....	123
8.2. Líneas de trabajo futuras	124
9. Bibliografía	125

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Elementos relacionados con el concepto de estrategia	23
Figura 2.2 Niveles de estrategia y jerarquía organizativa	25
Figura 2.3 El proceso de la dirección estratégica (Navas, y otros, 1998).....	26
Figura 2.4 Matriz DAFO para el análisis estratégico.....	40
Figura 4.1 Sistema de colas básico	66
Figura 4.2 Ejemplo sencillo de grafo	67
Figura 7.1 Diagrama de costes del trabajo	121

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Dedicación del PDI funcionario	53
Tabla 3.2 Dedicación del Personal Investigador contratado.....	54
Tabla 3.3 Otras actividades docentes	56
Tabla 7.1 Horas efectivas trabajadas	113
Tabla 7.2 Desglose de horas dedicadas en cada etapa.....	114
Tabla 7.3 Salario de cada trabajador (en euros)	115
Tabla 7.4 Coste por etapas de cada trabajador (en euros).....	116
Tabla 7.5 Coste y amortización de los equipos empleados (en euros)	117
Tabla 7.6 Costes de material (en euros)	118
Tabla 7.7 Distribución de gastos generales (en euros)	119
Tabla 7.8 Cálculo del coste total del trabajo (en euros).....	120
Tabla 7.9 Cálculo del precio de venta final (en euros)	122

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 5.1 Hoja Excel - Datos profesores	82
Ilustración 5.2 Hoja Excel - Datos asignaturas.....	83
Ilustración 5.3 Hoja Excel - Datos horarios.....	85

Ilustración 5.4 Hoja Excel - Preferencias asignaturas	86
Ilustración 5.5 Hoja Excel - Restricción horario.....	87
Ilustración 5.6 Hoja Excel - Programa parte I.....	88
Ilustración 5.7 Hoja Excel - Programa parte II.....	89
Ilustración 5.8 Hoja Excel - Programa parte III.....	90

Resumen

Este trabajo comienza con la planificación estratégica como herramienta de gestión de las universidades españolas, concretamente en la Universidad de Valladolid. A continuación, profundiza más y pasa a tratar la herramienta de gestión principal empleada en la asignación de personal docente dentro de los departamentos universitarios, el Plan de Organización Docente. Posteriormente se pasa a analizar el tipo de problema que es esta asignación de capacidades docentes y las distintas metodologías existentes para resolverlo mediante un modelo matemático. Por último, se presenta un procedimiento para realizar esta asignación, que incluye una caracterización del problema, la recopilación y el análisis previo de datos, el diseño de un nuevo modelo matemático y la resolución de este, así como las pruebas realizadas y las conclusiones obtenidas.

Palabras clave: plan de organización docente, programación lineal mixta, herramientas de gestión, Universidad de Valladolid.

1. Introducción

Tradicionalmente, la profunda diversidad entre los sistemas de educación y formación de los distintos Estados miembros, suponía un inconveniente para los europeos a la hora de demostrar las cualificaciones obtenidas en un país al querer matricularse en un curso o presentarse a un puesto de trabajo en otro.

Así, en Bolonia en 1999, dio comienzo un proceso de Convergencia Europea con el acuerdo de construcción del Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) (Reichert, y otros, 2003), cuyas intenciones, entre otras, eran la adopción de un sistema de titulaciones fácilmente reconocibles y comparables, el establecimiento de un sistema común de créditos, la promoción de la movilidad y la adopción de un sistema de titulaciones basado esencialmente en dos ciclos: grado y postgrado; de tal forma que, no solo pretendía promover la movilidad de los estudiantes para facilitar su empleabilidad, sino también originar un cambio en la enseñanza superior orientado hacia una mejora de la calidad de la educación.

Para conseguir esto, todo tenía que cambiar, empezando por las instituciones, continuando por los planes de estudio y la forma de entender y acceder al aprendizaje por parte de los estudiantes, y acabando con una renovación pedagógica de los docentes que permita ampliar y actualizar sus metodologías.

A raíz de esto, se han producido varios cambios sustanciales en la estructura de la universidad durante la última década. Uno de los cambios más relevantes ha sido la gran importancia dada a los proyectos de investigación y las tareas de transferencia de conocimiento y tecnología. De la misma forma, el personal académico ha sido considerablemente modificado, así como los grupos de alumnos a los que se imparten docencia, de manera que antes únicamente existía un grupo de clase en el que se trataba toda la asignatura, y actualmente existen subgrupos, de un número reducido de alumnos, en los que se tratan por separado la parte teórica y la parte práctica de la asignatura.

Esta división en subgrupos para cada asignatura supone una gran complejidad en la distribución de horarios y en la asignación de docencia.

1.1. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

En los distintos departamentos de la Universidad de Valladolid, la asignación del personal docente se realiza por orden de prelación de las distintas categorías de personal docente e investigador. Es decir, en primer lugar, escogen qué asignaturas impartir los docentes con una categoría superior y dentro de cada categoría, los docentes con más antigüedad.

Es común utilizar hojas de Excel que recogen los diferentes datos explicados en el Documento de plantilla del Personal Docente e Investigador de la Universidad de Valladolid, así como las distintas asignaturas que imparte un departamento, desglosadas en subgrupos, junto con la carga de horas que tiene cada una de ellas. Mediante estos

datos, se va asignando manualmente el personal docente a cada subgrupo de tal forma que todas las horas de docencia queden cubiertas y el personal docente no tenga exceso de carga, en la medida de lo posible. A la hora de hacer esta asignación, se deben seguir los criterios establecidos en el Documento de plantilla del Personal Docente e Investigador de la Universidad de Valladolid.

Esta metodología es útil, pero se, se puede perfeccionar mediante el uso de un programa informático, al que se le indiquen los datos con los que operar y los criterios que seguir.

Con este trabajo se pretende formular un procedimiento, junto con un modelo matemático, que implemente estas mejoras en la asignación de capacidades docentes. Para ello se utiliza el Excel junto con el OpenSolver, una herramienta integrada en Excel, ya que, como se ha dicho anteriormente, en la Universidad de Valladolid se utiliza este programa tanto para recopilar datos de asignaturas como para la realización de los horarios.

Esta asignación, no es más que un proceso de toma de decisiones, que se define como “el proceso para identificar y solucionar un curso de acción para resolver un problema específico” (Stoner, y otros, 2003), y forma parte de la dirección estratégica de una organización.

1.2. CONTENIDO DE LA MEMORIA

El capítulo primero introduce la problemática del método empleado en la asignación de docencia en un departamento universitario.

El segundo capítulo, junto con sus subcapítulos, trata de la necesidad de las universidades españolas de una planificación estratégica como herramienta de gestión, así como la necesidad de este tipo de herramientas a un nivel más profundo: los departamentos.

El tercer capítulo habla de lo que es el plan de organización docente (POD) de un departamento universitario y expone las bases del POD de la Universidad de Valladolid, así como la metodología para su elaboración.

El capítulo cuatro trata la investigación operativa y las diferentes metodologías existentes para la resolución de problemas, haciendo hincapié en la Programación Lineal Mixta, que será la base para el modelo matemático propuesto, desarrollado en el capítulo quinto.

En el número seis se exponen las pruebas realizadas y los resultados obtenidos con el modelo propuesto.

El capítulo siete es un pequeño estudio económico del trabajo realizado.

El capítulo ocho trata las conclusiones obtenidas en los capítulos anteriores y presenta las posibles líneas de trabajo futuras.

Y para concluir el trabajo, un capítulo dedicado a la bibliografía consultada y empleada a lo largo de todo el desarrollo.

2. Gestión en las Universidades

A lo largo de las últimas décadas, las universidades se han tenido que enfrentar a un entorno cada vez más cambiante, así como dar respuesta a los retos emergentes (Bok, 2004). Como toda organización, ante este entorno complejo y dinámico, las universidades deben formular sus propios objetivos y estrategias partiendo de lo que es actualmente y lo que desea ser. Es decir, tratar de adoptar decisiones de forma planificada y prepararse para el futuro. Esto se consigue a través de la estrategia empresarial.

La dirección estratégica es una herramienta de gestión, cuyo fin es buscar la estrategia con más probabilidades de éxito, para obtener el objetivo de la organización. Tiene su origen en el entorno militar, en donde la idea básica es la competitividad, es decir, el modo de actuar frente al adversario para lograr unos propósitos determinados. Se introduce en el ámbito empresarial con las obras de Andrews (1971), Ansoff (1976) y Porter (1980), donde se usa para proporcionar unas directrices generales a la organización, determinando conjuntamente los objetivos y las líneas de acción para la alcanzarlos. Pero este concepto no llega a las universidades españolas hasta mediados de la década de los noventa

En 1983, en la obra *Academic Strategy* (Keller, 1983), se argumentaba que las universidades eran complejas instituciones que no sobrevivirían sin planificación ni estrategia, y se defendía la dirección estratégica como herramienta de gestión capaz de conseguir una adaptación continua de la organización a las condiciones cambiantes del entorno.

Desde la publicación de esta obra hasta la actualidad, se han desarrollado muchos temas que describen la manera en que ha sido aplicada la dirección estratégica y los beneficios que esta ha aportado a las universidades que la han adoptado.

En los últimos años la utilización de esta metodología ha ido evolucionando progresivamente, de forma que en la actualidad podemos encontrar una gran representación de planes estratégicos que nos permiten analizar el papel que desempeña en la administración de las universidades.

Partiendo de este contexto, en este capítulo se describen los diferentes conceptos de estrategia dados por distintos autores a lo largo de los años y se analizan las fases que componen el proceso de dirección estratégica, así como la posibilidad y utilidad de su aplicación como herramienta de gestión en las Universidades.

2.1. DECISIONES ESTRATÉGICAS

El contexto actual exige de la dirección de una organización una actitud estratégica que persiga su continua adaptación a un entorno altamente inestable, fundamentada en la creencia de que el futuro puede ser mejorado a través de decisiones estratégicas adecuadas.

En este apartado se tratan las diferentes definiciones del concepto de estrategia dadas por distintos autores, así como la definición de los niveles empresariales en los que se puede hablar de ella con propiedad.

2.1.1. CONCEPTO DE ESTRATEGIA

El concepto de estrategia ha evolucionado a lo largo de los años y han sido varios autores los que han definido este término sin haber logrado un consenso.

“La estrategia es el patrón de los principales objetivos, propósitos o metas y las políticas y planes esenciales para lograrlos, establecidos de tal manera que definan en qué clase de negocio la empresa está o quiere estar y qué clase de empresa es o quiere ser. Es un modo de expresar un concepto persistente de la empresa en un mundo en evolución, con el fin de excluir algunas nuevas actividades posibles y sugerir la entrada de otras” (Andrews, 1971).

“La esencia de la formulación de una estrategia competitiva consiste en relacionar a una empresa con su medio ambiente y supone emprender acciones ofensivas o defensivas para crear una posición defendible

frente a las cinco fuerzas competitivas en el sector industrial en el que está presente y obtener así un rendimiento superior ante la inversión de la empresa” (Porter, 1980).

“La estrategia es el lazo común entre las actividades de la organización y las relaciones producto-mercado tal que definan la esencial naturaleza de los negocios en que está la organización y los negocios que la organización planea para el futuro” (Ansoff, 1976).

Esta variedad de definiciones es consecuencia de los múltiples enfoques empleados en el estudio del problema. Por esta razón, Hax y Majluf (1996) consideran que el concepto de estrategia “abarca todas las actividades críticas de la empresa, proporcionándole un sentido de unidad, dirección y propósito, y facilitando los cambios necesarios introducidos por su entorno”.

Partiendo de este enfoque integrador, la estrategia se convierte en la estructura fundamental mediante la cual una organización define su continuidad vital. Además, es la forma de vincular la organización con su entorno, ya que, aunque el entorno influye en la organización condicionando sus decisiones, ésta también forma parte del entorno de otros competidores condicionándolos a su vez con sus propias decisiones, tal y como se muestra en la Figura 2.1 Elementos relacionados con el concepto de estrategiaFigura 2.1.

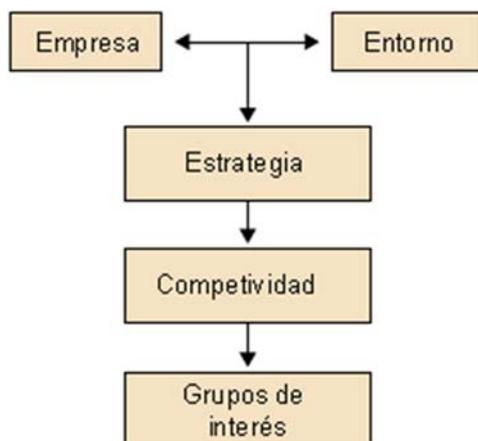


Figura 2.1 Elementos relacionados con el concepto de estrategia

Esta primera idea también implica que para que se pueda hablar de estrategia, es necesario que haya otras organizaciones o agentes que compitan con la organización por los clientes, los recursos o el éxito.

Las decisiones estratégicas pueden ser diversas, pero todas tienen en común que tratan de conseguir que la organización sea más competitiva. La forma en que cada organización consigue ser más competitiva refleja el contenido de la estrategia seguida.

2.1.2. NIVELES DE ESTRATEGIA

Habitualmente, el pensamiento estratégico hace referencia a tres niveles de estrategias, que corresponden a diferentes niveles jerárquicos de la organización. Estos tres niveles son claramente diferenciados en organizaciones diversificadas. Pero en las organizaciones que desarrollan una única actividad, los dos primeros niveles se solapan al buscar la mejor actuación posible.

Estos tres niveles son:

- **Estrategia corporativa:** se trata de fijar una visión global de la organización. Se ocupa de definir su misión y sus los objetivos, la relación básica con los agentes externos, la búsqueda de oportunidades para la creación de valor, entre otras cosas.
- **Estrategia competitiva:** la cuestión principal es como construir una posición competitiva mejor. Los elementos clave para ello son la creación y mantenimiento de una ventaja competitiva y la creación, mejora y explotación de recursos y capacidades valiosos.
- **Estrategias funcionales:** se centran en cómo utilizar y aplicar los recursos y habilidades dentro de cada área funcional de cada organización, con el fin de maximizar la productividad de dichos recursos.

Estos tres niveles de estrategia descritos forman una jerarquía de estrategias, cuya responsabilidad corresponde a distintas personas dentro de la organización. Además, significan distintos aspectos de un mismo problema estratégico, por lo que se debe plantear una interacción entre ellos, tal y como se aprecia en la Figura 2.2.

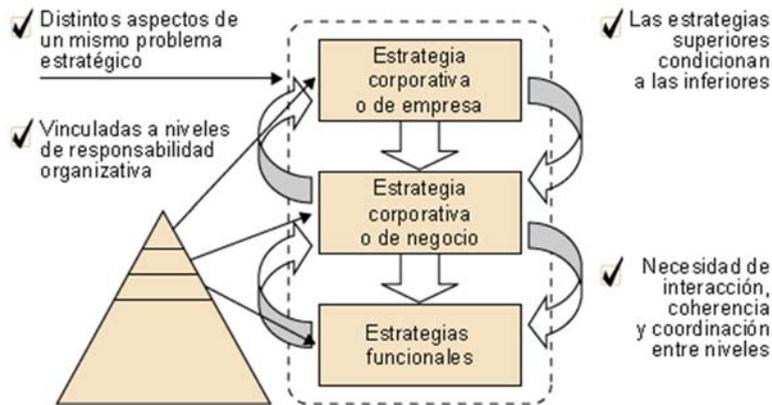


Figura 2.2 Niveles de estrategia y jerarquía organizativa

De todo esto se puede resumir que la estrategia es el conjunto de acciones que se aplicarán en un determinado contexto con el fin último de lograr unos objetivos determinados, y que esta estrategia está dividida en tres niveles estratégicos que interactúan entre sí.

2.2. PROCESO DE DIRECCIÓN ESTRATÉGICA

Del apartado anterior se puede deducir, que la estrategia empresarial surge de un complejo conjunto de actividades denominadas el proceso de dirección estratégica, que constituye el sistema de referencia a aplicar en la administración de las universidades.

La dirección estratégica se refiere a la toma de decisiones sobre los problemas más importantes que se presentan en una organización, pero también ha de formular una estrategia y llevarla a cabo. En este apartado se tratará la dirección estratégica como un proceso y se desarrollarán las etapas que lo forman.

2.2.1. CONCEPTO

El proceso de dirección estratégica requiere un desarrollo continuo de toma de decisiones. Tanto el análisis y formulación de una estrategia como su posterior implantación deben tener en cuenta los factores de oportunidad respecto a su entorno competitivo, así como la integración de éstos con su situación económica y el conjunto de objetivos y reglas que orienten el funcionamiento de la organización.

En la Figura 2.3 se puede observar la visión sintética del proceso de dirección estratégica que ofrecen Guerras y Navas.

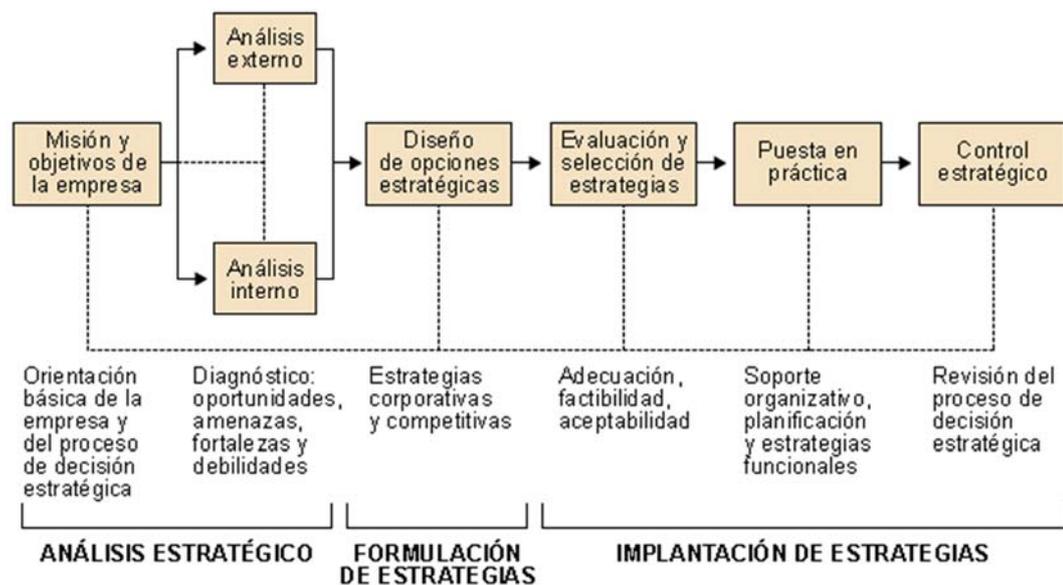


Figura 2.3 El proceso de la dirección estratégica (Navas, y otros, 1998)

Esta propuesta divide el proceso en tres fases: el análisis estratégico, la formulación de estrategias y la implantación de las estrategias.

Aunque existe un orden lógico en el desarrollo temporal de este proceso, en la realidad el proceso se concibe como la interacción constante de los elementos incluidos en cada etapa, por lo que es necesaria una realimentación de información constante durante todo el proceso.

2.2.2. ANÁLISIS ESTRATÉGICO

El análisis estratégico es el inicio de todo proceso de dirección estratégica. Respecto a la universidad, esta fase pretende determinar la posición estratégica de la universidad en relación con su entorno, así como las influencias y expectativas de los stakeholders, partiendo de la valoración de sus recursos y capacidades internas (Johnson, y otros, 2006).

Puede entenderse como el proceso mediante el cual es posible determinar el conjunto de amenazas y oportunidades del entorno, así como el conjunto de fortalezas y debilidades de la universidad, de forma que permita a la dirección un diagnóstico y una evaluación de la situación, para poder ser capaces de realizar la formulación de una estrategia, una vez definidos la misión, la visión y los objetivos estratégicos de la organización.

Esta es una fase de mucha importancia para lograr el éxito de todo el proceso, por lo que todas las instituciones están prácticamente obligadas a la selección y aplicación de aquellas técnicas que faciliten esta fase y le den fiabilidad y solidez.

Se puede destacar que el análisis estratégico comprende dos acciones básicas: la realización de un diagnóstico basado en el análisis interno y

externo de la universidad y la determinación de la orientación de la universidad mediante la definición de su misión, visión y objetivos.

Estos tres elementos que componen las dos acciones básicas son los tres ejes sobre los que se construirá la estrategia de la universidad.

DIAGNOSTICO DE LA SITUACIÓN DE LA UNIVERSIDAD

Para realizar este diagnóstico, tal y como se ha indicado anteriormente, es necesario llevar a cabo un doble análisis: el externo referido a su entorno, y el interno centrado en la propia institución.

a) Análisis interno

Durante muchos años, el análisis interno de las organizaciones se centró en cuestiones relacionadas con implantar la estrategia, pero desde finales de los años ochenta comenzó a interesarse por el papel que desempeñaban los recursos y capacidades de las organizaciones como base fundamental de sus estrategias. Su identificación permite diagnosticar los puntos fuertes sobre los que apoyar las estrategias y como minimizar los puntos débiles (Grant, 1996). Tanto los recursos como las capacidades determinan las posibilidades de la universidad en las actividades que desempeña, así como la idoneidad que tiene para el desarrollo de otras nuevas.

Se puede entender como recursos al “conjunto de factores o activos de los que dispone y controla una empresa para llevar a cabo su estrategia competitiva” (Navas, y otros, 1998) o como “aquellos activos tanto tangibles como intangibles, inputs de un proceso, que están a disposición

de la empresa como una fuerza o debilidad de la organización” (Benavides, y otros, 2002).

Sin embargo, los recursos por si solos normalmente no explican las ventajas competitivas de las organizaciones (Ventura, 1994), sino que se necesita una “capacidad” que permita combinar y gestionar de manera adecuada tales recursos convirtiéndolos en algo útil. Por lo que se puede definir que las capacidades que posee una organización son el fruto del desarrollo a través del tiempo de las interacciones existentes entre los propios recursos que esta posee (Ventura, 1994).

No es fácil en la mayoría de ocasiones saber diferenciar entre recursos y capacidades, pero de una manera simplificada se puede decir que los recursos son elementos que se controlan mientras que las capacidades representan la forma de utilizarlos.

De esta forma, Navas y Guerras (1998) señalan que “los recursos y capacidades de la empresa pueden entenderse como el conjunto de elementos, factores, activos, habilidades y atributos que la empresa posee o controla y que le permiten formular y poner en marcha una estrategia competitiva”.

Con este análisis interno se pretende identificar las fortalezas y debilidades de la universidad mediante la identificación de estos recursos y capacidades.

Por fortaleza se entiende la posición favorable que una organización posee en alguno de sus elementos y que la sitúa en convenientes posiciones para responder de manera eficaz ante una oportunidad o una

amenaza. Hacen referencia a elementos de la universidad, basados en sus recursos y capacidades, que le pueden suministrar el liderazgo en determinadas actuaciones.

Mientras que una debilidad es una posición desfavorable en mencionados elementos y que implica no estar en unas condiciones favorables para afrontar con garantías las oportunidades y amenazas del entorno. Se trata de impedimentos, barreras y obstáculos que, mientras no se eliminen, coartan el desarrollo de algunos puntos fuertes de la universidad, debilitando su funcionamiento al potenciar otras debilidades.

De una forma general, se puede resumir que las fortalezas son lo que permite a la organización tener un alto nivel de competitividad, mientras que las debilidades perjudican el logro de los objetivos.

Para realizar este análisis, también hay que considerar, entre otros, el estudio de los componentes organizativos, el análisis del personal, el inventario de medios materiales, el estudio de la situación financiera, el análisis de la prestación del servicio y la proyección de la imagen de la universidad (Benavides, 1998)

Estos aspectos constituyen los puntos a fortalecer como fuente de competencia que puede desarrollar la universidad. Es necesario que la universidad identifique sus competencias esenciales, las cuales son difíciles de imitar y son las que determinan su habilidad para superar a otras universidades, es decir, configuran su núcleo de competencias, sobre el cual establecerá la base de su ventaja competitiva

b) Análisis externo

La universidad, al igual que cualquier otra organización, puede ser considerada como un sistema abierto en constante interrelación con su entorno. Es decir, no sólo recibe influencias del entorno, sino que también tiene un cierto poder sobre él.

García Falcón (1987) hizo una integración de las visiones del entorno consideradas hasta el momento identificándolo como todos aquellos factores externos a la organización que influyen en su actividad. Así estos factores fueron agrupados en dos segmentos: el macroentorno, constituido por variables de carácter general que influyen sobre todas las organizaciones y un entorno de naturaleza más particular, integrado por el conjunto de grupos de interés (*stakeholders*) con los que interactúa la organización.

Se tienen así los dos niveles habituales para el análisis del entorno desde la perspectiva de la universidad. El general, común a todas las universidades y constituido por el conjunto de valores culturales y sociales, normas legales y políticas y todos los elementos que definen el marco regulador de la universidad, así como las condiciones económicas, tecnológicas y demográficas de la sociedad en general. Y el específico, referido a cada universidad en concreto y formado por los individuos, organizaciones y grupos con los que la universidad interactúa directamente.

Aunque ambos entornos son importantes, cabe resaltar que la importancia del entorno específico es mucho mayor ya que incide más directamente sobre la universidad y, al mismo tiempo, la propia

universidad tiene una enorme capacidad de influir sobre dicho entorno específico dado el carácter público del servicio que proporciona.

Con el análisis externo se pretende identificar el conjunto de amenazas y oportunidades que entorno proporciona a la universidad.

Podemos entender como oportunidades a aquellas tendencias o factores que pueden llevar a la organización a resultados favorables y permiten obtener ventajas competitivas. Son posibilidades existentes en el ámbito externo a la universidad que, si ésta es capaz de acceder a ellas y aprovecharlas, le proporcionarán destacadas ventajas.

Por el contrario, se entiende como amenazas aquellas situaciones o eventos futuros que pueden provocar un impacto negativo contra la permanencia de la organización, si no se da una respuesta de carácter estratégico a tiempo. Son eventos que pertenecen al exterior de la universidad, que son previsibles, y que, si se llegan a dar, dificultarán el logro de los objetivos de la institución.

Para el desarrollo de este análisis, también es necesario considerar algunas cuestiones básicas como las siguientes (Benavides, 1998): el estudio de la situación socioeconómica, el análisis de los factores demográficos, el estudio de factores políticos, el análisis de la demanda, el estudio de la oferta y la valoración de factores tecnológicos.

La valoración y el estudio de estos factores del entorno, desvela las oportunidades y amenazas que en el momento de su realización se derivan de una situación externa concreta para la universidad. Es al menos conveniente investigar acerca de las futuras circunstancias que

afectarán a la universidad y describir los escenarios en los que esta se desenvolverá. Por lo que el análisis del entorno debe finalizarse con un estudio de cómo será en el futuro.

DETERMINACIÓN DE LA MISIÓN, VISIÓN Y OBJETIVOS

Esta segunda acción básica en la realización del análisis estratégico se ocupa de tres conceptos primordiales en la elaboración de cualquier plan estratégico: la misión de la universidad o su propósito, la visión o intención estratégica, que define sus aspiraciones y la orienta hacia donde desea ir, y los objetivos estratégicos que proporcionan señales orientativas del camino a seguir. Aunque estos tres elementos están muy vinculados entre sí, se van a analizar por separado.

a) Misión

La misión de una universidad representa su identidad y personalidad en el momento actual y de cara al futuro, desde un punto de vista muy general. En ella debe estar identificada la necesidad básica de la sociedad a la que la Universidad destina sus servicios. Se constituye como un propósito genérico acorde con los valores o expectativas de los *stakeholders*.

Se puede entender como la respuesta a la pregunta ¿cuál es la esencia de nuestra organización y cuál queremos que sea?

En general, la misión tiende a ser estable en el tiempo, pero se debe entender como un concepto que evoluciona. Es decir, la misión puede ser replanteada como consecuencia de los cambios del entorno, de

dificultades para hacerla efectiva o de cambios en la alta dirección de la universidad.

A pesar de que la misión se refiere a aspectos muy generales, no siempre es sencillo definirla. Esta definición debe recoger la esencia de la organización, por tanto, es específica para cada organización y determina su individualidad.

La misión de las universidades viene determinada según la Ley Orgánica 6/2001, de 21 de diciembre, de Universidades (BOE del 24 de diciembre), en la cual se dice, respecto a la universidad:

“Reconocemos que las Universidades ocupan un papel central en el desarrollo cultural, económico y social de un país, será necesario reforzar su capacidad de liderazgo y dotar a sus estructuras de la mayor flexibilidad para afrontar estrategias diferenciadas en el marco de un escenario vertebrado...

El auge de la sociedad de la información, el fenómeno de la globalización y los procesos derivados de investigación científica y desarrollo tecnológico están transformando los modos de organizar el aprendizaje y de generar y transmitir el conocimiento. En este contexto la Universidad debe liderar este proceso de cambio en consecuencia, reforzar su actividad investigadora para configurar un modelo que tenga como eje el conocimiento.”

Además de esto, en el artículo primero de esta mencionada ley se describen cuáles son las funciones de la universidad:

“1. La Universidad realiza el servicio público de la educación superior mediante la investigación, la docencia y el estudio.

2. Son funciones de la Universidad al servicio de la sociedad:

a) La creación, desarrollo, transmisión y crítica de la ciencia, de la técnica y de la cultura.

b) La preparación para el ejercicio de actividades profesionales que exijan la aplicación de conocimientos y métodos científicos y para la creación artística.

c) La difusión, la valorización y la transferencia del conocimiento al servicio de la cultura, de la calidad de la vida, y del desarrollo económico.

d) La difusión del conocimiento y la cultura a través de la extensión universitaria y la formación a lo largo de toda la vida. “

Queda así definida por estas disposiciones la misión de las universidades desde una perspectiva general, constituyendo un marco de actuación para las instituciones de educación superior.

En la actualidad, las universidades tienen que precisar los componentes de la misión y a través de ellos destacar su identidad y dejar en claro con qué disposición está dispuesta a enfrentarse a los grandes retos de su entorno.

De entre estos componentes cabe destacar dos aspectos que tienen una importancia especial. El primero es la declaración de valores, que constituye la expresión de la cultura organizativa que posee la

universidad y se configura como un paso fundamental para más adelante poder desarrollar la visión, por lo que resulta primordial que esté acordada,

El segundo aspecto es el que se encarga del núcleo de competencias de la universidad. Este hace referencia a las capacidades singulares que la institución posee y que la hacen distinta a otras universidades, permitiéndole diferenciarse y competir con ellas.

b) Visión

Una vez formulada la misión, o adaptada la que viene impuesta por las normas legales, es necesario formular la visión, la percepción de lo que la universidad podría o debería llegar a ser.

La misión define, en pocas palabras y de la forma más clara posible, las metas que se pretenden conseguir en el futuro, es decir, el modelo o proyecto de universidad al que tiende la institución, haciendo especial énfasis en los rasgos que la distinguen y que pretende desarrollar respecto a sus competidoras.

Puede entenderse como la respuesta a las preguntas de ¿cómo seremos? ¿cómo queremos ser en el futuro?

La definición de la visión debe ser uno de los papeles centrales de la alta dirección (Dess, y otros, 2003). Desde este enfoque, la visión se convierte en una referencia para todas las actuaciones de forma que, ante las posibles alternativas que se puedan plantear sobre la realización de las tareas, todos los integrantes de la organización opten por aquellas que más se le ajusten.

Por lo tanto, la visión identifica las diferencias entre la situación actual y la deseada y marca la dirección a seguir por la organización. Una visión bien diseñada prepara a la universidad para el futuro (Thompson, y otros, 2004). En función de este planteamiento, la visión puede modificar la definición de la misión si la situación que se desea en el futuro implica una nueva razón de ser.

No obstante, aunque la visión recoge la situación deseada que puede tener la universidad en el futuro, esta debe ser alcanzable y realista, en ningún caso debe ser una ilusión o una fantasía. Esto implica que es necesario considerar de una forma adecuada tanto las condiciones del mercado, tecnológicas, económicas y sociales a las que tendrá que enfrentarse en el futuro, como los recursos y capacidades disponibles a los que podrá acceder.

c) Objetivos

La gran diferencia existente entre la realidad actual de la universidad y el futuro deseado hace necesario un esfuerzo considerable para conseguirlo. Para superar esta diferencia y poder avanzar, la organización debe desagregar la visión en objetivos estratégicos. A estos objetivos intermedios y menos ambiciosos algunos autores los han denominado retos empresariales (Hamel, y otros, 1990).

Se denomina objetivos estratégicos a las metas y estrategias planteadas por una organización para lograr determinados propósitos realizando acciones que le permitan cumplir con su misión, inspirados en la visión.

“Los objetivos a largo plazo representan los resultados que se esperan del seguimiento de ciertas estrategias. Las estrategias son las acciones que se emprenderán para alcanzar los objetivos a largo plazo.” (David, 2003)

Los objetivos estratégicos se consideran esenciales para alcanzar el éxito futuro de una organización. Pueden ser entendidos como la respuesta a la pregunta ¿cómo llegaremos a ser lo que queremos ser?, y deberían cumplir los siguientes criterios (Hamel, y otros, 1990; Dess, y otros, 2003): que sean medibles, específicos, adecuados, sucesivos, realistas, desafiantes y fijados en el tiempo.

En la medida en que los objetivos se vayan consiguiendo, sirven de estímulo y motivación para que la universidad se plantee nuevos retos progresivamente más ambiciosos.

Thompson y Strickland (2004) clasifican los objetivos estratégicos según cinco criterios: según la naturaleza de los objetivos pueden ser financieros o estratégicos; según el horizonte temporal pueden ser a corto o a largo plazo; según el grado de concreción pueden ser abiertos o cerrados; según su alcance pueden ser ambiciosos o imposibles; y según el nivel de implantación pueden ser corporativos, competitivos o funcionales.

Con todos estos elementos del análisis estratégico, la dirección de la universidad es capaz de hacer una evaluación de la situación para que se pueda proceder a la formulación de la estrategia más adecuada.

2.2.3. FORMULACIÓN DE ESTRATEGIAS

A partir del análisis estratégico, la universidad trata de formular o diseñar las alternativas que tiene para conseguir la misión y los objetivos elegidos a partir del contexto definido en los análisis externo e interno. Podrá escogerse sólo una estrategia o varias, teniendo en cuenta que no existe la posibilidad de una elección que sea claramente la acertada o la errónea, ya que cualquier estrategia presentará ciertas ventajas y ciertas desventajas.

Se elegirán las estrategias competitivas en cuanto a diferenciación, liderazgo en costes, etc. Se definirán las direcciones de desarrollo futuro de la organización en cuanto a especialización, diversificación, etc. Se fijarán las formas de crecimiento, ya sea externo, interno o de cooperación. Y se delimitará el grado y las vías de internacionalización más convenientes.

Entre las diversas técnicas aplicables, la matriz DAFO es una de las más utilizadas. Introducida en 1982 por Heinz Wehrich, se considera como una valiosa herramienta para la formulación de estrategias, aunque también se utiliza como instrumento para la fase de análisis y diagnóstico estratégico.

La denominación de esta matriz hace referencia a su objeto de estudio: Debilidades de la organización, Amenazas del entorno, Fortalezas de la organización y Oportunidades del entorno. Su estructura se representa en Figura 2.4.

FACTORES INTERNOS \ FACTORES EXTERNOS	AMENAZAS (A)	OPORTUNIDADES (O)
DEBILIDADES (D)	<u>Estrategias de supervivencia (DA)</u> MINI (D)- mini (A)	<u>Estrategias de reorientación (DO)</u> MINI (D)- maxi (O)
FORTALEZAS (F)	<u>Estrategias defensivas (FA)</u> MAXI (F)- mini (A)	<u>Estrategias ofensivas (FO)</u> MAXI (F)- maxi (O)

Figura 2.4 Matriz DAFO para el análisis estratégico

Esta herramienta es relativamente simple y generalizada en la toma de decisiones estratégicas. Su objetivo es ayudar a la organización a encontrar sus factores estratégicos críticos, para apoyar en ellos el cambio organizacional: afianzando fortalezas, reduciendo debilidades, aprovechando las ventajas de las oportunidades, y minimizando los inconvenientes y peligros de las amenazas.

Partiendo del listado de amenazas, oportunidades, debilidades y fortalezas identificadas en la etapa de análisis estratégico, se confeccionan las relaciones entre ellos y se establecen las estrategias a seguir. Estas pueden ser de cuatro posibilidades:

- **Estrategias (DA) o de supervivencia:** pretenden minimizar tanto las debilidades internas de la universidad como las amenazas derivadas del entorno
- **Estrategias (DO) o de reorientación:** se pretende al mismo tiempo minimizar las debilidades internas y aprovechar al máximo las oportunidades que ofrece el entorno.

- **Estrategias (FA) o defensivas:** su objetivo es maximizar las fortalezas de la universidad y reducir las amenazas del entorno. Sobre la base de las fortalezas se prepara la institución para responder adecuadamente a las situaciones adversas que están por venir.
- **Estrategias (FO) u ofensivas:** utilizan al máximo las fortalezas de la universidad con el fin de alcanzar y maximizar las oportunidades que ofrece el entorno. En este caso la Universidad se adelantará a su futuro empleando lo mejor de sus recursos y capacidades para aprovechar las situaciones favorables que se están presentando.

Con varias alternativas a la vista, el siguiente paso es evaluarlas para escoger cuál o cuáles de ellas se van a implantar.

2.2.4. IMPLANTACIÓN DE ESTRATEGIAS

En esta etapa se realiza la evaluación y selección de estrategias para su puesta en práctica. Esta es una etapa de extrema importancia ya que implica optar por una estrategia y descartar otras. A partir de la evaluación y selección comienza la implantación de la estrategia, la universidad comienza a desarrollar el futuro y a tener éxitos o fracasos.

Para depurar el conjunto de opciones estratégicas conseguido en la etapa anterior, se requiere realizar una evaluación adecuada de estas opciones, para lo que hay que establecer unos criterios de valoración que, ya que entrarán en conflicto unos con otros, será necesario ponderarlos.

Este proceso de evaluación y selección es una tarea difícil y en la mayoría de los casos no es posible realizar una selección racional cien por cien

objetiva. A veces los objetivos han ido cambiando, no están del todo claros o no se dispone de la información adecuada para la evaluación de las distintas opciones. En definitiva, la selección de estrategias puede ser el resultado de una elección forzada por las circunstancias, responder a un planteamiento fruto del aprendizaje basado en la experiencia, o bien ser una manifestación de la voluntad de la alta dirección.

Una vez escogida la estrategia o estrategias definitivas, se procede a su implantación. Esta fase se ocupa de dar solución a los problemas que surgen en el instante de implantar, aplicar y desarrollar la estrategia.

La implantación de una estrategia lleva ligada la necesidad de introducir cambios en la organización. Por lo que exige identificar las necesidades de recursos y la asignación de los mismos, así como la creación y el desarrollo de las competencias necesarias para garantizar su ejecución.

También es necesario diseñar como se va a dirigir este cambio, que técnicas de gestión se utilizarán y que estilos de dirección se aplicarán. Para ello es muy útil elaborar un plan de acción que recoja los objetivos y decisiones adoptados en etapas anteriores, así como las acciones concretas a emprender en las diferentes áreas y los distintos niveles organizativos junto con la asignación de medios y el camino a seguir para que la estrategia tenga éxito.

Tras el proceso de elección de una estrategia adecuada, su éxito solo será factible si su implantación es excelente: una pobre implantación originará malos resultados y convertirá en inútiles las decisiones adoptadas. También la buena implantación de una estrategia pobre o mal definida permitirá la redefinición y corrección de esta.

La implantación se completa con la etapa de control estratégico, que se ocupa primero de formalizar y posteriormente de revisar el proceso de implantación de la estrategia, así como su adecuación conforme van cambiando las condiciones internas o externas previamente definidas.

Esta última etapa tiene como objetivo el seguimiento y la evaluación de todo el proceso y está orientada a garantizar que todos los resultados que se han previsto se cumplan. Este control supone el diseño y la puesta en marcha de los mecanismos de retroalimentación necesarios para determinar si las distintas fases del proceso de dirección estratégica son apropiadas y funcionan correctamente. Debe servir para ayudar al gobierno de la universidad a alcanzar sus objetivos a través del análisis y la evaluación de todo este proceso.

Para el éxito del control estratégico, es necesario tener un adecuado sistema de información destinado a suministrar al equipo de gobierno de la universidad la información necesaria, en tiempo real, para que puedan adoptar sus decisiones.

Como conclusiones de todo lo descrito hasta el momento, se tiene que el análisis y la formulación de estrategias empresariales y su posterior implantación deben tener en cuenta tanto los factores de oportunidad respecto a su entorno competitivo, así como la integración de estos en el análisis de la situación económica de la organización y en el conjunto de objetivos y normas que orienten su funcionamiento. Esto implica la utilización de una metodología adecuada que, tal y como se ha explicado a lo largo de este capítulo, es el proceso de dirección estratégica.

A modo de resumen, las fases de este proceso son: el establecimiento de los propósitos generales de la organización, el análisis de entorno (amenazas y oportunidades), el análisis interno (fortalezas y debilidades), la formulación y el diseño de estrategias tanto a nivel corporativo, de negocio y funcional, la evaluación y selección de estrategias, la puesta en práctica de la estrategia elegida y la elaboración de un plan estratégico para su control.

2.3. PLAN ESTRATÉGICO DE LA UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

Tal y como los estatutos de la Universidad de Valladolid recogen en su artículo 215, nº2:

“Para el logro más efectivo, eficaz y eficiente de sus fines, la Universidad de Valladolid se dotará de un plan estratégico, especificando en él sus objetivos y prioridades, políticas generales, líneas de acción, programación de actuaciones y mecanismos de evaluación de los resultados alcanzados.”

El plan estratégico de la UVa implica una postura que apoya la planificación como sistema de apoyo a la toma de decisiones, y responde tanto a los estatutos de la universidad como a la convicción de la necesidad de basarse en esta herramienta de gestión para el gobierno de la institución.

La Universidad de Valladolid aprobó su primer Plan Estratégico en 2008, con horizonte el año 2014, para orientar las decisiones y las acciones para conducir a la organización hacia unas metas comunes.

Actualmente se está desarrollando un nuevo Plan Estratégico 2016-2020. Este plan establece un marco general de actuación que afecta a todas las partes de la Universidad: los centros, los departamentos, las titulaciones de Grado y Postgrado, los institutos y los servicios.

Aunque un plan estratégico supone un gran potencial como herramienta de apoyo a la mejora de la universidad, aprovechar este potencial requiere afrontar ciertos riesgos y no decaer en el intento para que todos los factores sean tratados en busca del éxito. La planificación estratégica requiere largos esfuerzos, que la Universidad de Valladolid afronta con la certeza de que este proceso contribuya a situarla en una posición competitiva ventajosa en un entorno en el que la rivalidad entre los centros de educación superior está en aumento.

Teniendo como base la elaboración de un plan estratégico de líneas generales de actuación para toda la Universidad, a un nivel más profundo encontramos los departamentos universitarios, que requieren de una planificación más detallada y específica. Para ello se emplea otra herramienta de gestión, el Plan de Organización Docente (POD), mediante la cual se realiza la asignación de docencia para cada curso académico.

3. Plan de Organización Docente

Tal y como establece el Reglamento de Ordenación Académica de la Universidad de Valladolid (ROA), “el Plan de Organización Docente es el documento que anualmente recoge de manera detalla la oferta educativa de carácter oficial de la Universidad de Valladolid junto con la distribución correspondiente de responsabilidad docentes”. Es decir, es el documento que describe la asignación de docencia al profesorado de un departamento con el objeto de cubrir, cada curso académico, la completa docencia de las asignaturas que el Departamento tenga encomendadas en los planes de estudio de las titulaciones oficiales.

Según el Reglamento de Ordenación Académica (Título Primero, Capítulo Primero, Artículo 2), esta descripción debe constar, al menos, de: la relación de asignaturas que componen la oferta educativa, la asignación de asignaturas a unidades docentes, el número y el tipo de grupos docentes para cada una de las asignaturas, los horarios y el calendario de actividades docentes, y los profesores encargados de la docencia de cada uno de los grupos docentes.

Elaborar este plan es un instrumento clave para la correcta regulación docente de la universidad que, partiendo de una estrecha coordinación entre todos los agentes (departamentos, comisiones, centros, comités,

servicios...) que actúan en alguna de las etapas que lo constituyen, debe combinar la optimización de los recursos disponibles con las necesidades docentes.

El proceso de elaboración de este plan se plantea en tres etapas, desarrolladas de forma secuencial, en las que se describe su finalidad, los agentes implicados y sus competencias, y los plazos en los que se deben desarrollar.

Para el desarrollo de este proceso se debe tener presente el Documento de plantilla del Personal Docente e Investigador de la Universidad de Valladolid, en el cual se establecen las normas básicas para la toma de decisiones en materia de profesorado.

3.1. PRIMERA ETAPA

En la primera fase, los centros elaboran una propuesta de organización docente de todas las titulaciones que ofertan y del aprovechamiento eficaz de los recursos que disponen para el desarrollo de estas actividades. Podrán realizar las consultas que consideren necesarias a los Departamentos y a los Comités de Título para su elaboración.

Esta propuesta de Fase I, desarrollada mediante la información obtenida de cursos anteriores, previsiones de matrícula y contactos con la Unidad de Planificación, debe contener:

- La oferta docente constituida por las asignaturas que van a impartirse, señalando para cada una de ellas su tipología, el número y tipo de

grupos en los que se organizan, las unidades docentes responsables de su docencia y el idioma en que se imparten.

- Las solicitudes de cambio de adjudicación de asignaturas a unidades docentes.
- Los límites de admisión de nuevos alumnos para cada una de las titulaciones, así como el número previsto de alumnos para cada una de las modalidades de continuidad de estudios.
- La previsión de trabajos de Fin de Grado y Máster para el curso, desglosada por unidades docentes.

Estas propuestas las estudia y las transmite la Unidad de Planificación Docente, conjuntamente con los Vicerrectores de Profesorado y de Ordenación Académica e Innovación Docente. Si se encuentran discordancias o incoherencias, pueden solicitar a los centros las aclaraciones e información complementaria que se consideren necesarias.

Una vez elaboradas sin desajustes, la Comisión de Consejo de Gobierno y la Comisión de Profesorado analizan las propuestas y elaboran una propuesta final que se eleva al Consejo de Gobierno para su debate y aprobación.

La oferta de asignaturas y grupos aprobada finalmente en esta primera etapa será la empleada para elaborar la Guía de Matrícula, sin que los centros puedan incorporar variaciones sobre esta en una fecha posterior a su elaboración, salvo bajo causas excepcionales.

3.2. SEGUNDA ETAPA

En la segunda etapa, una vez elaborado y publicado el informe de previsión de necesidades de plantilla derivado de la oferta docente aprobada en la primera fase, los Departamentos aprueban e introducen en la aplicación informática la asignación de profesorado completa del total de grupos de las asignaturas que tienen asignadas en los planes de estudio y, en el caso de ser necesario, remiten al Vicerrectorado de Profesorado las propuestas de modificación de plantilla que consideren necesarias para atender adecuadamente la oferta docente aprobada en la etapa anterior. También los departamentos publican los Proyectos Docentes de las distintas asignaturas que conforman la oferta educativa del curso académico.

Para la elaboración de la asignación de profesorado, el Departamento debe distribuir la docencia de forma que cada tipología de grupo dentro de cada grupo docentes no esté muy fragmentada. También ha de procurar que los profesores impartan el mínimo número de asignaturas posible, tener en cuenta la especialidad de cada profesor respecto a las asignaturas a impartir y garantizar la igualdad en la relación carga/capacidad entre los miembros de cada unidad docente.

Como norma general, los Departamentos deben intentar realizar la asignación de profesorado de forma que pueda ser atendida totalmente con los recursos docentes con que cuentan. Pero en el caso de que una unidad docente no pueda cubrir la totalidad de la docencia prevista, el Departamento debe garantizar que al menos queden cubiertas todas las

asignaturas obligatorias y básicas del primer cuatrimestre, de forma que se asegure el comienzo del curso.

Los Consejos de Departamento deben aprobar la asignación de profesor a cada uno de los grupos de las asignaturas que tengan bajo su responsabilidad, asegurando la participación de todos los profesores que integran el Departamento en la elaboración de la propuesta de asignación. Este plan de asignación de profesorado debe contener la totalidad de la actividad docente, indicando para cada grupo docente cada asignatura y el/los profesor/es encargados de su docencia, así como la labor tutelar del profesorado.

A continuación, los centros establecen los calendarios de actividades docentes y los profesores responsables de la docencia, publican la guía docente de cada asignatura.

Por último, la Comisión de Profesorado evalúa las peticiones de los departamentos y presentan al Consejo de Gobierno una propuesta de resolución.

3.3. TERCERA ETAPA

En la tercera y última etapa, se realiza una revisión del número y tamaño de los grupos docentes creados inicialmente, cuando se aprecie falta de capacidad docente de los Departamentos o cuando la matrícula no se adapte a las previsiones realizadas con anterioridad.

En esta etapa, los Centros pueden proponer modificaciones en el número de grupos de docencia creados, siempre que el número de alumnos

matriculados justifique esta variación. El Vicerrectorado de Ordenación Académica e Innovación Docente es el encargado de resolver estas propuestas. En el caso de que las modificaciones afecten a la plantilla de profesorado, las propuestas se resuelven de manera conjunta con el Vicerrector de Profesorado.

3.4. DOCUMENTO DE PLANTILLA DEL PERSONAL DOCENTE E INVESTIGADOR

Este documento contiene las reglas a las que se debe ajustar el cálculo de la capacidad docente del profesorado y del encargo docente, así como la determinación de las necesidades docentes de la Universidad de Valladolid, y es empleado para la elaboración del Plan de Organización Docente.

3.4.1. *CAPACIDAD DOCENTE*

La Capacidad Docente (CD) del Personal Docente e Investigador (PDI) a tiempo completo de la Universidad de Valladolid, es el máximo de horas lectivas presenciales por curso que se asigna a cada persona y depende de la categoría de la plaza que ocupe. Según lo establecido en el RD-Ley 14/2012, de 20 de abril, 1 ECTS equivale a 10 horas lectivas del profesor. La CD del PDI con régimen de tiempo parcial se calcula de forma proporcional a la dedicación comprometida.

En la Tabla 3.1 se presenta un resumen de las dedicaciones del PDI funcionario según la categoría con una referencia de curso académico docente de 40 semanas.

Tabla 3.1 Dedicación del PDI funcionario

Categoría	CD (h/c)
PDI funcionario a tiempo completo con 5 o más sexenios, CAUN ¹ con sexenio vivo y con 4 sexenios y otras figuras de PDI funcionario a tiempo completo con sexenio vivo y con 3 o 4 sexenios	160
CAUN a tiempo completo con sexenio vivo y con menos de 4 sexenios y otras figuras de PDI funcionario a tiempo completo con sexenio vivo y con menos de 3 sexenios	240
CAUN, PTUN ² , CAEU ³ y PTEU ⁴ a tiempo completo con menos de 5 sexenios y sin sexenio vivo	280
PDI funcionario a tiempo parcial (cuya dedicación es de H horas/semana)	40*H

También se contabiliza la capacidad docente de varias figuras de personal investigador con contrato temporal que desarrollen sus actividades en la Universidad de Valladolid, así como los profesores visitantes (PVIS) con posibilidad de colaborar en tareas docentes. A la hora de contabilizar este personal, su capacidad se computa en otro apartado denominado Capacidad Docente del Personal Investigador

¹ Catedrático Universitario

² Profesor Titular de Universidad

³ Catedrático de Escuela Universitaria

⁴ Profesor Titular de Escuela Universitaria

(CDPI). En la Tabla 3.2 Dedicación del Personal Investigador contratado se resumen sus dedicaciones docentes máximas.

Tabla 3.2 Dedicación del Personal Investigador contratado

Categoría	CD (h/c)
Contratado “Juan de la Cierva” o “Ramón y Cajal”	80
Programa de investigadores postdoctorales de la UVa	80
Personal Investigador en Formación de Programas europeos, nacionales, regionales o de los propios programas de la UVa	60
Profesores visitantes	40*H

3.4.2. CAPACIDAD DOCENTE EFECTIVA

La Capacidad Docente Efectiva (CDE) es un parámetro individual que para cada personal docente e investigador de la UVa se determina con anterioridad al inicio de cada curso académico, generalmente en el período de enero/mayo, aunque se va actualizando a lo largo del curso, según se produzcan variaciones. La CDE del personal docente e investigador consiste en su capacidad docente de la que, generalmente, se pueden deducir hasta un máximo de 120 horas por curso.

Esta reducción se calcula teniendo en cuenta las actividades de gestión, otras actividades docentes distintas a la docencia de grado y postgrado,

y la evaluación anual más reciente de la actividad investigadora realizada por la UVa.

Para el cálculo concreto de la CDE de cada miembro del PDI, se procederá de la siguiente forma:

- 1º - Para cada PDI a tiempo completo (CAUN, PTUN, CAEU, PTEU, CDOC⁵, PAYUD⁶, PCOLA⁷ y PAGRE) se tienen en cuenta las actividades de gestión universitaria (AGU). Al finalizar el primer cuatrimestre, se revisarán los casos en los que se hayan producido ceses en el desempeño de los cargos, y en los casos en los que se haya desempeñado durante al menos cuatro meses, se calcularán la mitad de las horas correspondientes a ese cargo. Una vez realizados estos ajustes, la CDE no se modificará durante el resto del curso.
- 2º - Para cada PDI se contabilizan otras actividades docentes (OAD) que no podrán superar entre todas, un reconocimiento de 60 horas por curso, según lo reflejado en la Tabla 3.3.
- 3º - Para cada PDI a tiempo completo (CAUN, PTUN, CAEU, PTEU, CDOC, PAYUD, PCOLA y PAGRE) se tienen en cuenta otras actividades de investigación (OAI), cuyo valor máximo es de 30 horas por curso.

⁵ Contratado Doctor

⁶ Profesor Ayudante

⁷ Profesor Colaborador

Tabla 3.3 Otras actividades docentes

Actividad	Reconocimiento para el siguiente curso
Dirección de tesis doctorales defendidas y aprobadas en el curso anterior	15 h/c por cada tesis durante dos cursos
Tutoría de prácticas externas optativas, de grado y postgrado, llevadas en el curso anterior	1 h/c por cada alumno
Miembro de tribunal de proyectos fin de carrera, TFG y TFM que hayan actuado en el curso anterior	2 h/c por cada grupo de 5 alumnos
Tutoría de movilidad de alumnos en el curso anterior	0,5 h/c por cada alumno
Participación en “Cursos 0” autorizados por la Uva en el curso anterior	Nº de horas programadas

Una vez realizados estos reconocimientos, para cada PDI se calcula la capacidad docente efectiva de la siguiente forma:

$$CDE = \max[140; CD - \min(120; AGU + OAD + OAI)]$$

3.4.3. ENCARGO DOCENTE

El Encargo Docente de una unidad docente (ED_UD) es la suma de las horas que debe impartir en el próximo curso, tanto en estudios de grado y máster, como en los planes a extinguir. Según lo establecido en el ROA,

es necesario hacer una distinción entre las asignaturas obligatorias y las optativas.

Se denomina $EGyMC_UD$ ⁸ a la suma de las horas que imparte la unidad docente en todas las asignaturas obligatorias y básicas de los grados, en las asignaturas básicas y obligatorias de los másteres siempre y cuando éstos hayan tenido como mínimo 10 nuevos alumnos matriculados de nuevo ingreso y en las asignaturas optativas de grados y másteres que tengan al menos 10 alumnos matriculados en el curso actual. También se contabilizan 4 horas por curso por cada 6 ECTS de los TFG y 5 horas por curso por cada 6 ECTS de los TFM defendidos en el curso anterior.

También han de tenerse en cuenta la necesidad de atender a los alumnos en las asignaturas sin docencia y tutorías tanto de los grados o máster en los TFG y TFM, respectivamente, y en las prácticas obligatorias, así como de los proyectos de fin de carrera de los planes en extinción. Este reconocimiento se denomina $PEyP_UD$.

Así pues, el encargo docente de una unidad docente es

$$ED_UD = EGyMC_UD + PEyP_UD$$

De forma análoga, el encargo docente de cada PDI es

$$ED = EGyMC + PEyP + AGU + OAD + OAI$$

Este valor se usa para justificar la capacidad docente de cada PDI.

⁸ Encargo de Grado y Máster que Computa para la Unidad Docente

3.4.4. NECESIDADES DOCENTES

Las Necesidades Docentes Efectivas (NDE) de una unidad docente, se calculan como la diferencia entre el encargo docente de la misma, y la suma de las capacidades docentes efectivas de cada miembro.

$$NDE = ED_{UD} - Suma(CDE)$$

Este dato indica la necesidad de proporcionar o no nuevas plazas a la unidad docente, cuya tipología depende de las peticiones efectuadas por la unidad docente y de las necesidades docentes reales (NDR).

$$NDR = EGyMC_{UD} - Suma(CD)$$

3.4.5. CRITERIOS DE ASIGNACIÓN

Partiendo de lo establecido de manera general en el Capítulo Tercero del Reglamento de Ordenación Académica de la Universidad de Valladolid, se establecen cinco criterios de asignación de docencia:

1. Los departamentos deben garantizar la igualdad en la relación carga/capacidad individual entre los miembros de cada una de sus unidades docentes, para el reparto del encargo docente asociado a las asignaturas de Grado (dentro del EGyMC).
2. El reparto de la oferta de Trabajos de Fin de Grado que sea necesario satisfacer, se debe realizar siguiendo también el criterio de equidad anterior. Además, en ningún caso se puede asignar a cada profesor un número de TFG superior a 10.

3. Cuando la estructura de la plantilla de la unidad docente exija que el reparto de la oferta de TFG englobe también a los profesores con contrato temporal con finalización anterior al comienzo del curso siguiente, se debe establecer una fecha límite de realización para el TFG compatible con la situación del profesor.
4. En las unidades docentes cuyas NDE sean positivas, no se puede asignar asignaturas que formen parte del EGyMNC a profesores con contrato laboral.
5. Ningún profesor de la unidad docente puede tener asignado menos de 1 ECTS de cada uno de los grupos de las asignaturas de grado o master que le correspondan en el reparto aprobado por el Consejo de Departamento, exceptuando casos con causas debidamente justificadas y aprobadas por el Vicerrector de Ordenación Académica.

Partiendo de estos conceptos y estas reglas básicas, se pretende proponer un método que sirva como herramienta para realizar la asignación docente de un departamento de una forma más óptima. Para lo cual en primer lugar hay que identificar el tipo de metodología más adecuada para resolver este proceso de toma de decisiones.

4. Investigación operativa

La investigación operativa (IO) o investigación de operaciones, es una herramienta que consiste en el uso de modelos matemáticos y algoritmos para modelar y resolver problemas complejos, determinando la solución óptima y mejorando la toma de decisiones. Con ella se buscan soluciones que sean significativamente más eficientes en comparación con las decisiones tomadas de manera intuitiva.

4.1. MODELOS EN INVESTIGACIÓN OPERATIVA

La aplicación de la investigación operativa se basa principalmente en la construcción y uso de modelos como simplificación de la realidad, de manera que sea representativo del problema real, pero al mismo tiempo ser simple para favorecer su resolución.

Un modelo es una herramienta analítica cuyo propósito es proporcionar un medio para analizar el comportamiento de los factores de un sistema con el fin de identificar el mejor curso de acción posible. Estos pueden ser matemáticos, de simulación o heurísticos. Principalmente se utilizan modelos matemáticos, que se pueden representar con ecuaciones cuya estructura es muy sencilla:

$$U = f(x_i, y_j)$$

según restricciones

$$\begin{cases} U \rightarrow \text{utilidad o valor de ejecución del sistema, función objetivo} \\ x_i \rightarrow \text{variables no controlables o dependientes, las incógnitas} \\ y_j \rightarrow \text{variables controlables o independientes, los datos} \end{cases}$$

Normalmente se requieren una o más ecuaciones o inecuaciones de restricción, para definir que algunas (o todas) de las variables dependientes pueden manejarse dentro de ciertos límites.

Una vez obtenido el modelo, puede utilizarse para encontrar de manera exacta o aproximada los valores óptimos de las variables dependientes, aquellas que proporcionan la mejor solución al problema.

4.1.1. CONSTRUCCIÓN DE MODELOS

De forma genérica, el proceso asociado a la construcción de un modelo de optimización es el siguiente:

1° - Definición del problema: se debe describir el objetivo del estudio, identificar las alternativas de decisión y reconocer las limitaciones, restricción y requisitos del sistema.

2° - Construcción de un modelo: se debe decidir el modelo más adecuado para representar el sistema, pudiendo ser un modelo matemático, un modelo de simulación, un modelo heurístico o una combinación de los tres.

3° - Solución del modelo: se deben identificar las alternativas de resolución para el modelo construido.

4° - Validación; se verifica que la solución alcanzada cumple las restricciones impuestas al problema.

5° - Implementación y control de la solución: una vez la solución está verificada, se procede a su implementación.

4.2. TIPOS DE PROBLEMAS

Se puede decir que cualquier problema que requiera la toma de decisiones es un problema de investigación operativa. Según (Munguía Ulloa, y otros, 2005), la mayoría de estos problemas se engloban en las siguientes categorías:

- **Secuenciación**: se refieren al ordenamiento de equipos en determinado orden para realizar los trabajos.
- **Asignación de recursos**: se refieren a la asignación de recursos a las actividades de tal forma que se optimice alguna medida de efectividad.
- **Ruteo**: se refieren a la elección de la ruta más corta para llegar de un origen a un destino.
- **Reemplazo**: problemas en los que se debe decidir el tiempo óptimo para reponer un equipo.

- **Inventario:** se refieren a la decisión de cuánto mantener en inventario de un determinado producto de manera que se optimice cierta medida de efectividad.
- **Colas:** problemas muy comunes que implican la espera de clientes en cola para obtener la prestación de un servicio
- **Programación de proyectos:** problemas en los que se deben realizar una serie de actividades interrelacionadas, en un cierto orden, y en el menor tiempo posible. La planificación se complica por la interdependencia de las actividades, muchas de las cuales no pueden comenzar a realizarse sin que hayan terminado otras.

A raíz de esto, se puede deducir en primera instancia, que el problema de la distribución docente que se está tratando a lo largo de todo este trabajo pertenece al tipo de problema de *Asignación de recursos*.

Se exponen a continuación, las técnicas de investigación operativa más utilizadas para que, al concluir este capítulo, quede clara la metodología más adecuada para resolver este tipo de problema, y se pueda proceder a la construcción del modelo utilizando esta metodología como base.

4.3. TÉCNICAS DE RESOLUCIÓN

4.3.1. TEORÍA DE JUEGOS

La teoría de juegos propone una formulación matemática para el análisis de conflictos que implica la disputa entre dos o más participantes y en los que cada agente dispone de varias opciones de actuación según las

limitaciones de las reglas del juego. Es decir, la teoría de juegos estudia la elección óptima de un individuo cuando los costes y los beneficios de cada opción dependen de las elecciones de otros individuos.

Existen diferentes categorías en las que se pueden agrupar los miles de juegos existentes:

- **Juegos simétricos:** en un juego simétrico, las recompensas y castigos de cada jugador son las mismas.
- **Juegos de suma cero:** los que cuando un jugador gana, el otro pierde exactamente la misma cantidad.
- **Juegos cooperativos:** aquellos en los que dos o más jugadores forman un equipo para conseguir un objetivo.
- **Equilibrio de Nash:** la solución final que se consigue es un equilibrio en el que ninguno de los jugadores gana nada modificando su estrategia mientras los otros mantengan la suya.
- **Juegos secuenciales o simultáneos:** en los secuenciales cada jugador actúa después de otro, mientras que en los simultáneos todos actúan a la vez.
- **Juegos de información perfecta:** todos los jugadores saben lo que han hecho los otros anteriormente.

Esta metodología no es la adecuada para resolver un problema de asignación de recursos, más bien es una solución a problemas de optimización interactiva.

4.3.2. TEORÍA DE COLAS

La teoría de colas es el estudio matemático del comportamiento de líneas de espera dentro de un sistema. Las colas se forman debido a un desequilibrio temporal entre la demanda de un servicio y la capacidad del sistema para proporcionarlo.

Un sistema de colas (tal y como se representa en la Figura 4.1) se puede describir como un conjunto de clientes que llega a un sistema buscando un servicio, esperan si este no es suministrado inmediatamente, y abandonan el sistema una vez han sido atendidos. En algunos casos, los clientes abandonan el sistema si se cansan de esperar.

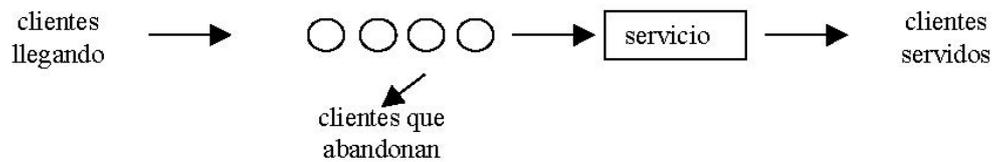


Figura 4.1 Sistema de colas básico

Los objetivos de la teoría de colas consisten en evaluar el impacto que tendrían en el coste total del sistema las posibles alternativas que modifican su capacidad, estar atento al tiempo de permanencia en el sistema o en la cola, establecer un balance óptimo entre los costes y el servicio, e identificar el nivel óptimo de capacidad del sistema que minimice su coste.

Esta teoría de colas es muy útil para modelar procesos como la implementación de una cadena productiva en la ingeniería industrial, la llegada de datos a una cola en ciencias de la computación o la congestión

de red de telecomunicación, sin embargo, no es una técnica favorable para resolver problemas de asignación de recursos.

4.3.3. TEORÍA DE GRAFOS

La teoría de grafos se deriva de las técnicas de programación por redes. Representa una relación directa entre el tiempo y el coste, indicando el óptimo económico de un proyecto, de tal forma que se consiga el mejor aprovechamiento posible de los recursos disponibles en un plazo óptimo. Es decir, esta teoría busca la ejecución de los proyectos al menor coste y en el plazo más corto, así como la distribución óptima de los recursos disponibles o su redistribución en caso de haber modificaciones.

Un grafo G está formado por un par (V, E) , donde V es un conjunto finito de vértices, y E es un conjunto de pares no ordenados de vértices, llamados aristas, que se denotan por (i, j) . En la Figura 4.2 se puede ver un ejemplo de grafo, formado por:

$$V(G) = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$$

$$E(G) = \{(2, 1), (4, 2), (2, 7), (3, 5), (5, 3), (3, 6), (6, 3), (4, 5), (4, 6), (7, 4), (6, 5), (6, 7)\}$$

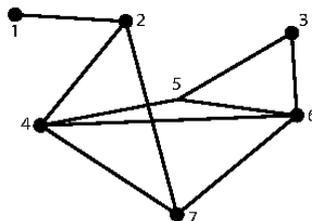


Figura 4.2 Ejemplo sencillo de grafo

Si las aristas están dadas por un conjunto de pares ordenados de vértices, se dice que G es un dígrafo, o un grafo dirigido.

Si se permite que entre un mismo par de vértices se trace más de una arista, se dice que G es un multigrafo. Y si se permiten aristas con origen y destino el mismo vértice, G es un pseudografo.

Esta técnica se aplica principalmente en optimización de recorridos, procesos, flujos y algoritmos de búsqueda, por lo que no es efectiva para la resolución de asignación de recursos.

4.3.4. CPM Y PERT

El método de la ruta crítica o del camino crítico es un proceso administrativo de planeación, programación, ejecución y control de todas las actividades que componen un proyecto que debe desarrollarse dentro de un tiempo crítico y con coste mínimo.

El objetivo principal es determinar la duración de un proyecto, entendiéndolo como una secuencia de actividades relacionadas entre sí, donde cada una de ellas tiene una duración estimada.

La ruta crítica es la secuencia de los elementos terminales de la red de proyectos con la mayor duración entre ellos, determinando así el tiempo más corto en el que es posible completar el proyecto. Es decir, la ruta crítica es la trayectoria más grande del proyecto, y es igual a su duración.

Para utilizar este método, los pasos son los siguientes:

1º - Definir el proyecto con todas sus actividades principales.

- 2º - Establecer las relaciones de precedencia entre las actividades.
- 3º - Dibujar un diagrama conectando las diferentes actividades en base a sus relaciones de precedencia.
- 4º - Definir costes y tiempo estimado para cada actividad.
- 5º - Identificar la trayectoria más larga del proyecto (ruta crítica).
- 6º - Utilizar el diagrama como ayuda para planear y controlar el proyecto.

La principal diferencia entre CPM y PERT es la manera de realizar la estimación de los tiempos. El PERT supone que el tiempo para realizar cada actividad es una variable aleatoria descrita por una distribución de probabilidad, mientras que el CPM, establece que los tiempos de las actividades se conocen de forma determinística y se pueden variar cambiando el nivel de recursos utilizados.

Básicamente es un método que se utiliza para analizar las tareas o actividades involucradas en finalizar un proyecto dado, por lo que no es aplicable al problema de la asignación de recursos.

4.3.5. *PROBABILIDAD Y ESTADÍSTICA*

La probabilidad es una medida de las posibilidades que tiene un evento futuro de verificarse cuando se realiza un experimento. Suele expresarse como un número entre 0 y 1. La forma tradicional de estimar algunas probabilidades es obteniendo la frecuencia de un evento determinado mediante la realización de experimentos aleatorios, bajo condiciones estables, de los que se conocen todos los resultados posibles.

La estadística es una herramienta que estudia los usos y el análisis provenientes de una muestra representativa de datos, buscando explicar las correlaciones y dependencias de un evento de ocurrencia aleatoria o condicional. Se divide en dos grandes áreas:

- **Estadística descriptiva:** el objetivo es organizar y describir las características de un conjunto de datos, con el propósito de facilitar su aplicación. Estos datos pueden ser resumidos de forma numérica o gráfica.
- **Estadística inferencial:** su objetivo es modelar patrones en los datos y extraer inferencias acerca de la población de estudio. Estas inferencias pueden ser pruebas de hipótesis, estimaciones de unas características numéricas, pronósticos de futuras observaciones, correlaciones o análisis de regresión.

La probabilidad junto con la estadística, son métodos utilizados en situaciones donde la información resulta difícil de obtener. Por lo que no es adecuado utilizarlo para la resolución del problema que se está tratando en este trabajo.

4.3.6. *CADENAS DE MARKOV*

Un proceso estocástico o aleatorio, es un proceso que se desarrolla en el tiempo en el cual el resultado obtenido en cualquier etapa contiene algún elemento que depende del azar. La cadena de Markov es el caso más simple de un proceso estocástico, en el cual el resultado en cada etapa sólo depende del resultado de la etapa anterior.

Este tipo de procesos tienen memoria, recuerdan el último evento ocurrido y esto condiciona las posibilidades de los eventos futuros. Esta memoria distingue las cadenas de Markov de las series de eventos independientes. Esto significa que la forma de dependencia entre eventos es simple.

El análisis de Markov permite encontrar la probabilidad de que un sistema se encuentre en un estado en particular en un momento dado. Es decir, permite encontrar las probabilidades de estabilidad para cada estado. Con esta información es posible predecir el comportamiento del sistema a través del tiempo.

Esta metodología es muy útil en muchos modelos, entre las variables aleatorias que forman un proceso estocástico. Se utilizan, por ejemplo, para analizar patrones de compra de deudores morosos, para analizar el reemplazo de un equipo, etc.

Esta característica de memoria podría resultar útil para planear las necesidades de personal, pero no sirve de mucho a la hora de asignar la capacidad docente a las asignaturas a impartir.

4.3.7. PROGRAMACIÓN DINÁMICA

La programación dinámica se aplica a problemas que pueden descomponerse en subproblemas interrelacionados, en donde se debe adoptar una decisión adecuada para cada uno sin olvidarse del objetivo final. Este método va resolviendo subproblemas de tamaño creciente y almacenando en una tabla las soluciones óptimas de esos subproblemas, para facilitar la solución de los problemas más grandes.

Estos algoritmos son iterativos y pueden tener grandes requerimientos de memoria. Se aplican a problemas de optimización y parten siempre de una definición recursiva que expresa la solución óptima a un problema como la combinación de las soluciones óptimas de subproblemas que se derivan del primero.

Este método es muy útil cuando surgen dudas sobre si comprar, vender o mantener máquinas y equipos, por ejemplo, pero no es de mucha utilidad para resolver el problema de asignación de recursos que se está planteando.

4.3.8. PROGRAMACIÓN NO LINEAL

La programación no lineal (PNL) es el conjunto de métodos que se utilizan para optimizar una función objetivo, sujeta a una serie de restricciones en donde una o varias de las variables incluidas son no lineales. Esta característica, permite tratar problemas donde los supuestos asociados a la proporcionalidad no se cumplen.

Se pueden dar los siguientes casos:

- La función a optimizar es no lineal y las restricciones son lineales.
- Las restricciones son no lineales y la función objetivo es lineal.
- El caso general, tanto la función objetivo como las restricciones son no lineales.

Por función no lineal se entiende aquella que contiene en sus expresiones matemáticas funciones no lineales del tipo cuadráticas, polinomiales,

exponenciales, etc. para al menos una de las variables involucradas en la expresión. Como por ejemplo:

$$X_1 \log X_2 + \sin X_2 + X_3 + X_4^2 \leq 5$$

En el problema de asignación de recursos no se tratan funciones no lineales, por lo que esta metodología no es útil.

4.3.9. PROGRAMACIÓN LINEAL

La Programación Lineal es un tipo de modelo matemático, un algoritmo mediante el cual se pretende optimizar, es decir, minimizar o maximizar una función lineal, llamada función objetivo, cuyas variables están sujetas a un conjunto de restricciones también lineales, expresadas por medio de sistemas de ecuaciones o inecuaciones de igualdad y/o desigualdad.

En general, un problema de programación lineal tiene la siguiente forma, con n variables y m restricciones:

Maximizar o minimizar $f(x) = c_1x_1 + \dots + c_nx_n$

Sujeto a $a_{11}x_1 + \dots + a_{1n}x_n \leq, =, \geq b_1$

....

$a_{m1}x_1 + \dots + a_{mn}x_n \leq, =, \geq b_m$

$x_1, \dots, x_n \geq 0$

Las variables x_j son las variables de decisión, las cantidades c_j se denominan coeficientes de la función objetivo, las cantidades a_{ij} son los

coeficientes tecnológicos y las cantidades b_i los términos independientes.

Las restricciones $x_1, \dots, x_n \geq 0$ son las restricciones de no-negatividad, que en ocasiones se sustituyen por las restricciones de acotación $l_j \leq x_j \leq u_j$, donde l_j es la cota inferior y u_j es la cota superior de la variable x_j .

El conjunto de puntos de \mathbb{R}^n que satisfacen todas las restricciones del problema, es el espacio de restricciones o conjunto factible.

El problema de Programación Lineal consiste en determinar los valores de las variables x_1, \dots, x_n que proporcionen el mejor valor para la función objetivo $f(x)$ y que cumplan con todas las condiciones representadas como restricciones del problema.

Cuando se tratan problemas simples de dos o tres variables, se emplea la resolución gráfica para encontrar el conjunto factible. Pero generalmente se tratan problemas de muchas más variables, para los cuales se utiliza el método símplex. Cuando se resuelve cualquier modelo de PL mediante este método, este da como resultado una de las siguientes salidas:

- **Problema no factible:** no hay ningún conjunto de valores de las variables de decisión que verifique todas las restricciones.
- **Problema con solución óptima finita:** es la situación habitual, en la que se obtienen los valores óptimos de las variables de decisión. En este

caso podrían suceder dos alternativas: que sea la única solución óptima o que existan infinitas soluciones óptimas.

- **Problema no acotado:** existe un conjunto de puntos del espacio de restricciones en los que el valor de la función objetivo se va haciendo indefinidamente más pequeño (o más grande en el caso de maximizar), y por tanto el valor mínimo (o máximo) de la función es $-\infty$ (o $+\infty$).

El primer paso para resolver un problema de programación lineal es la identificación de los elementos básicos: la función objetivo, las variables de decisión y las restricciones. El siguiente paso es la determinación de los mismos, siguiendo estas etapas:

1. Definir el criterio de la función objetivo
2. Identificar y definir las variables de decisión
3. Identificar y definir las restricciones
4. Plantear la función objetivo

PROGRAMACIÓN ENTERA

Un modelo de programación entera es una variante de la programación lineal donde se optimiza una función objetivo en presencia de restricciones en las que una parte o todas las variables de decisión toman valores restringidos a números enteros.

Existen dos tipos de variables enteras: las enteras generales (1) y las variables binarias (2).

$$0 \leq x_1 \leq u_1, \dots, 0 \leq x_n \leq u_n \quad \text{enteros} \quad (1)$$

$$x_1 \in \{0,1\}, \dots, x_n \in \{0,1\} \quad (2)$$

Estos modelos de programación entera se pueden clasificar en dos grandes áreas:

- **Programación entera mixta (PEM):** aquellos problemas de optimización que consideran variables de decisión enteras o binarias, pero no de forma exclusiva. Esto es aplicable a problemas como la incorporación de costes fijos, el problema de localización y transporte, y el problema de generación eléctrica, entre otros.
- **Programación entera pura (PEP):** aquellos problemas que consideran exclusivamente variables de decisión que adoptan valores enteros o binarios. Esto se puede aplicar al problema de asignación, a la selección de invitados a una boda, y a la programación de la explotación forestal, por ejemplo.

MÉTODO DE TRANSPORTE

El problema de transporte es una de las primeras aplicaciones importantes de la programación lineal. Se puede representar mediante un modelo lineal y emplear el método simplex para resolverlo, aunque debido a la estructura especial que presenta, se puede construir un método más eficaz para su resolución.

Este método de transporte es un problema de redes en programación lineal, cuyo fundamento es la necesidad de transportar unidades desde unos orígenes hasta unos destinos. El principal objetivo de un modelo de este tipo, es la satisfacción de todos los requerimientos establecidos por los destinos y la minimización de los costes relacionados con las rutas escogidas.

El problema es determinar el número de unidades x_{ij} que se deben enviar desde cada origen O_i hasta cada destino D_j para realizar el transporte a coste mínimo, teniendo en cuenta la satisfacción de las restricciones de oferta y demanda.

Cada origen O_i ($i = 1 \dots m$) dispone de una oferta a_i , y cada destino D_j ($j = 1 \dots n$) realiza una demanda b_j .

La forma estándar del problema del transporte es:

$$\text{Minimizar} \quad z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} \cdot c_{ij}$$

$$\text{sujeto a} \quad \sum_{j=1}^n x_{ij} \leq a_i \quad i = 1 \dots m \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \leq b_j \quad j = 1 \dots n \quad (2)$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad j = 1 \dots n, \quad i = 1 \dots m \quad (3)$$

Los coeficientes de la función objetivo c_{ij} representan los costes de transportar una unidad desde el origen i al destino j . La restricción (1) está asociada a las ofertas de los orígenes, que no deben sobrepasarse. La restricción (2) asegura que se satisfacen las demandas de los destinos. Y la restricción (3) garantiza que las variables de decisión no pueden tomar valores negativos, ya que representan las unidades de producto que se transportan.

MÉTODO DE ASIGNACION

El método de asignación es un problema particular del método del transporte. Su fundamento es la asignación de un número de orígenes (tareas, individuos, etc.) a un mismo número de destinos (máquinas, tareas, etc.) y el objetivo es optimizar una función de coste. Esta asignación se debe realizar con la condición de que cada origen tenga asignado un único destino y cada destino esté asignado a un único origen.

Cuando el número de orígenes no sea igual al número de destinos, se puede equilibrar el problema añadiendo tantos orígenes o destinos como sean necesarios que, al ser ficticios, su coste será cero.

Las variables de decisión se definen de la siguiente forma:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si el origen } O_i \text{ es asignado al destino } D_j \\ 0 & \text{en caso contrario} \end{cases}$$

La forma estándar del problema de asignación es:

$$\text{Minimizar} \quad z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_{ij} \cdot c_{ij}$$

$$\text{sujeto a} \quad \sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad i = 1 \dots n \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad j = 1 \dots n \quad (2)$$

$$x_{ij} = 0, \quad 1 \quad i, j = 1 \dots n \quad (3)$$

La restricción (1) indica que cada origen se debe asignar a un único destino, y la restricción (2) indica que cada destino tiene asignado un único origen. Mientras que la restricción (3) indica que las variables de decisión solo pueden tomar valores 1 o 0.

Como se puede apreciar, el caso de la asignación de recursos que se está tratando, es similar al método de asignación, pero se puede resolver mediante programación entera mixta de una manera más acertada.

5. Metodología propuesta

Como se ha visto en el capítulo anterior, la mejor metodología para resolver el problema de asignación de recursos que se está tratando, es la programación lineal mixta. En este capítulo el objetivo es proponer un modelo matemático cuya base sea esta metodología, para optimizar la distribución de docencia que se realiza en los departamentos universitarios.

Para realizar este modelo se ha utilizado un Excel que recoge los datos de los profesores pertenecientes al departamento (Ilustración 5.1), de las asignaturas que se imparten (Ilustración 5.2) y de los horarios de estas asignaturas de cada titulación (Ilustración 5.3).

También recoge las preferencias que tiene cada profesor sobre las asignaturas, ponderadas por la importancia que tiene cada profesor (Ilustración 5.4), así como las restricciones de horario para que a un mismo profesor no se le asignen dos asignaturas en la misma hora (Ilustración 5.5).

Por último, contiene la hoja con el desarrollo del programa (Ilustración 5.6, Ilustración 5.7 e Ilustración 5.8), en la que están representadas las

variables de decisión, la función objetivo y las restricciones, y una hoja de síntesis en la que se ve de manera más clara las asignaturas asignadas a cada profesor y la capacidad sobrante de cada uno.

			TOTAL
Capacidad Docente (CD)	CD		1480,6
Otras Actividades Docentes	OAD	max 60 h/c	24,5
Reducción por cargos	AGU		70
Otras Actividades de Investigación	OAI	max 30 h/c	108
Reconocimiento OAD, AGY y OAI	OAD+AGU+OAI	max 120 h/c	202,5
Capacidad Docente Efectiva (CDE 100%)	CDE		1544,5
Practicas Obligatorias	PO	1 h/c y alumno, max 60	13
Proyectos Fin de Carrera	PFC	6 h/c y alumno, max 60	42
Trabajos Fin de Grado	TFG	4 h/c y 6 ECTS	32
Trabajos Fin de Master	TFM	5 h/c y 6 ECTS	0
Asignaturas sin Docencia	AE	5 h/c y 20 alumnos	0
Prácticas obligatorias, PFC, TFG, TFM y Asignaturas sin docencia	PEyP		87
Capacidad efectiva (100%)	CE		1262,5
Capacidad efectiva (62%)	CE (62)	0,62	782,75

PDI a tiempo completo						PDI a tiempo parcial						
NUMERARIOS		CONTRATADOS		BECARIOS		TOTAL (1)	3+3A	6+6A	3+3C	6+6C	5+5A	TOTAL (2)
RODRIGO	ELENA	MARCOS	ÁLVARO	MARÍA			Jesús	Fernando	Adrián	Daniel	Juan	
240	280	105,6	240	60	925,6	90	180	45	90	150	555	
13,5	1	7	3	-	24,5	0	0	0	0	0	0	
20	50	0	0	-	70	-	-	-	-	-	0	
30	30	30	18	-	108	-	-	-	-	-	0	
63,5	81	37	21	0	202,5	0	0	0	0	0	0	
176,5	199	140	219	60	794,5	140	180	140	140	150	750	
5	1	2	5	0	13	0	0	0	0	0	0	
18	12	0	12	0	42	0	0	0	0	0	0	
8	16	0	8	0	32	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
31	29	2	25	0	87	0	0	0	0	0	0	
145,5	170	138	194	60	707,5	90	180	45	90	150	555	
90,21	105,4	85,56	120,28	37,2	438,65	55,8	111,6	27,9	55,8	93	344,10	

Ilustración 5.1 Hoja Excel - Datos profesores

En esta hoja se pueden observar los diferentes parámetros especificados el POD para cada profesor: la capacidad docente, las deducciones por otras actividades, las horas empleadas en proyectos fin de carrera, TFG y TFM, las horas empleadas en tutorías de prácticas obligatorias, así como las empleadas en asignaturas sin docencia, y lo más importante, la capacidad docente efectiva total y la mínima (62%). Esta capacidad docente efectiva es el número máximo de horas de las que dispone cada profesor para impartir la docencia de las distintas asignaturas. Para cada

curso, estos parámetros deberán actualizarse antes de proceder al desarrollo del programa.

Asignaturas	HT asignatura	G/PG	Centro	Grado	Código	Tipo
Empresa	365	Grado	SFM	IE	41625	FB
Empresa	365	Grado	SFM	IE	41625	FB
Empresa	365	Grado	SFM	IE	41625	FB
Empresa	365	Grado	SFM	IE	41625	FB
Empresa	365	Grado	SFM	IE	41625	FB
Empresa	365	Grado	SFM	ITI	46435	FB
Empresa	365	Grado	SFM	ITI	46435	FB
Empresa	365	Grado	SFM	ITI	46435	FB
Empresa	365	Grado	SFM	ITI	46435	FB
Empresa	365	Grado	SFM	ITI	46435	FB
Empresa	365	Grado	SFM	ITI	46435	FB
Empresa	365	Grado	SPC	IQ	41820	FB
Empresa	365	Grado	SPC	IQ	41820	FB
Empresa	365	Grado	SPC	IQ	41820	FB
Empresa	365	Grado	SPC	IQ	41820	FB
Empresa	365	Grado	SPC	IQ	41820	FB
Empresa	365	Grado	SPC	IQ	41820	FB
Empresa	365	Grado	SPC	IQ	41820	FB
Empresa	365	Grado	SPC	IQ	41820	FB
Empresa	365	Grado	SPC	IQ	41820	FB
Empresa	365	Grado	SPC	IQ	41820	FB
Empresa	365	Grado	SPC	IOI	42485	FB
Empresa	365	Grado	SPC	IOI	42485	FB

Créditos	Curso	Cuatrimestre	Horario	Grupo	Subgrupo	Horas T.
6	1	2Q	Mañana	EIE1	1T	45
6	1	2Q	Mañana	EIE1	1S	0
6	1	2Q	Mañana	EIE1	1A	5
6	1	2Q	Mañana	EIE1	2A	0
6	1	2Q	Mañana	EIE1	1L	10
6	1	2Q	Mañana	EIE1	2L	10
6	1	2Q	Mañana	EIT11	1T	45
6	1	2Q	Mañana	EIT11	1S	0
6	1	2Q	Mañana	EIT11	1A	5
6	1	2Q	Mañana	EIT11	2A	5
6	1	2Q	Mañana	EIT11	1L	10
6	1	2Q	Mañana	EIT11	2L	10
6	1	2Q	Mañana	EIQ1	1T	45
6	1	2Q	Mañana	EIQ1	1S	0
6	1	2Q	Mañana	EIQ1	1A	5
6	1	2Q	Mañana	EIQ1	2A	5
6	1	2Q	Mañana	EIQ1	1L	10
6	1	2Q	Mañana	EIQ1	2L	10
6	1	2Q	Tarde	EIQ1	2T	45
6	1	2Q	Tarde	EIQ1	2S	0
6	1	2Q	Tarde	EIQ1	3A	5
6	1	2Q	Tarde	EIQ1	4A	0
6	1	2Q	Tarde	EIQ1	3L	10
6	1	2Q	Tarde	EIQ1	4L	10
6	1	2Q	Mañana	EIO11	1T	45
6	1	2Q	Mañana	EIO11	1S	0

Ilustración 5.2 Hoja Excel - Datos asignaturas

En esta hoja se recogen todos los datos de las asignaturas que imparte el departamento: el nombre de la asignatura, las horas totales, si corresponde a grado o a postgrado, el centro en el que se imparte, las diferentes titulaciones en las que se incluye, el código, el tipo de asignatura (FB – formación básica, OB – obligatoria, OP – optativa), el número de créditos ECTS, el curso al que pertenece, el cuatrimestre en el que se imparte, si se da en horario de mañana o de tarde, la denominación del grupo, los distintos subgrupos que la componen (T - clases de aula, A – clases de problemas, S – seminarios, L – laboratorios) y las horas de docencia de cada subgrupo. Estas horas son a las que hay que asignar horas de capacidad docente efectiva de los distintos profesores. Al comienzo de cada curso se deberá revisar todos estos datos de cada asignatura para proceder a la asignación.

INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES	ITI
---	------------

Cuatri 1°	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
8:00					
9:00					
10:00					
11:00	GEITI31T				
12:00				GEITI31T	
13:00				GEITI31T,GEITI31A	
14:00					
15:00					
16:00		IOITI22L,SPFITI21L		IOITI21L,IOITI21S,SPFITI22L	
17:00	IOITI21T	IOITI22L,SPFITI21L	IOITI21T	IOITI21L,IOITI21S,SPFITI22L	SPFITI21T
18:00			IOITI21A	SPFITI21T	
19:00				SPFITI21A	
20:00					SPFITI21A
21:00					

Cuatri 2°	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
8:00	EITI11L				
9:00			EITI12L		
10:00			EITI12L	EITI11T	EITI11T
11:00			EITI11T		
12:00			EITI11A	EITI11L	
13:00			EITI12A	EITI11L	
14:00					
15:00					
16:00					
17:00					
18:00					
19:00					
20:00					
21:00	EITI11L				

- EITI11T 3
- EITI11A 1
- EITI12A 1
- EITI11L 4
- EITI12L 2
- IOITI21T 2
- IOITI21S 2
- IOITI21A 1
- IOITI21L 2
- IOITI22L 2
- SPFITI21T 2
- SPFITI21A 2
- SPFITI21L 2
- SPFITI22L 2
- GEITI31T 3
- GEITI31A 1

Ilustración 5.3 Hoja Excel - Datos horarios

En esta hoja se debe introducir el horario de los diferentes subgrupos, con sus respectivas denominaciones. En la lista que se ve debajo del horario, están enumerados los subgrupos que hay que colocar en el horario, es decir, que tienen horas de docencia. La columna de la derecha

de esta lista es un recuento del número de horas que se han colocado en el horario de cada subgrupo, de tal forma que si alguno queda a 0 es que se ha olvidado ponerlo. En el caso de haber dos subgrupos a la misma hora, deberán colocarse separados por comas, como se ve por ejemplo en el horario del primer cuatrimestre el jueves a las 16:00.

Importancia profesor:

	3	5	6	8
	RODRIGO	ELENA	MARCOS	ÁLVARO
E	6	1	8	10
IO	8	5	3	10
SPF	4	2	2	1
IE	0	10	0	7
DE	2	5	2	2
DSPL	3	5	6	5
GE	1	9	8	2
DO	4	5	4	4
CTI	0	8	5	0
CGE	5	6	0	1
DSPL	3	2	5	6
DOL	2	9	9	2
OP	10	3	6	2

Ilustración 5.4 Hoja Excel - Preferencias asignaturas

En esta hoja se recogen las preferencias que tiene cada profesor para impartir cada asignatura, siendo 0 la de mayor preferencia y 10 la de menor. Esta preferencia se pondera por la importancia que tiene cada profesor (1 el que más y 10 el que menos). La preferencia de cada profesor es respecto a la asignatura completa, es decir, en la asignatura de Empresa (E), el profesor Rodrigo tendrá preferencia 6 para todos los subgrupos de esta asignatura, ya sean T, A, L o S. Estas preferencias están implementadas en la hoja Excel “Programa” (Ilustración 5.7).

	Lunes													
	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00
IOIE21A														
IOIE22A														
IOIE21L														
IOIE22L														
IOIT121T										1				
IOIT121S														
IOIT121A														
IOIT122A														
IOIT121L														
IOIT122L														
IOIQ21T														
IOIQ21S														
IOIQ21A														
IOIQ22A														
IOIQ21L														

Ilustración 5.5 Hoja Excel - Restricción horario

En esta hoja se recogen los datos introducidos en la hoja de “Datos horarios” para implementar la restricción de horarios en la hoja de “Programa”. Esta recogida de datos se realiza mediante una macro, que primero almacena en una matriz los datos de la hoja “Datos horarios” para cada subgrupo y luego escribe unos en la hoja “Restricción horario” en el subgrupo, el cuatrimestre, el día y la hora que corresponde.

Con estos datos se implementa la restricción de horario en la hoja “Programa” (Ilustración 5.8).

(máxima y mínima) de la capacidad efectiva disponible para cada profesor (remarcadas con un recuadro azul).

PREFERENCIAS ASIGNATURAS

Designación	RODRIGO	ELENA	MARCOS	ÁLVARO	MARÍA	Jesús	Fernando	Adrián
IOIOI22A	24	25	18	80	0	49	40	6
IOIOI21L	24	25	18	80	0	49	40	6
IOIOI22L	24	25	18	80	0	49	40	6
SPFIE21T	12	10	12	8	0	21	28	4
SPFIE21S	12	10	12	8	0	21	28	4
SPFIE21A	12	10	12	8	0	21	28	4
SPFIE22A	12	10	12	8	0	21	28	4
SPFIE21L	12	10	12	8	0	21	28	4
SPFIE22L	12	10	12	8	0	21	28	4
SPFIT21T	12	10	12	8	0	21	28	4
SPFIT21S	12	10	12	8	0	21	28	4
SPFIT21A	12	10	12	8	0	21	28	4
SPFIT22A	12	10	12	8	0	21	28	4
SPFIT21L	12	10	12	8	0	21	28	4
SPFIT22L	12	10	12	8	0	21	28	4

Ilustración 5.7 Hoja Excel – Programa parte II

En esta segunda parte de la hoja “Programa” están recogidas las preferencias de asignatura (para cada subgrupo) de cada profesor, ponderadas por la importancia de cada uno.

RESTRICCIÓN HORARIOS

Horas	RODRIGO	ELENA	MARCOS	ÁLVARO	MARÍA	Jesús	Fernando	Adrián
8:00	0	0	0	0	0	0	0	0
18:00	0	0	0	0	0	1	0	0
19:00	0	0	0	1	1	0	0	1
20:00	0	0	0	0	1	0	0	1
21:00	0	0	0	0	0	0	0	0
8:00	0	0	0	0	0	0	0	0
9:00	0	0	0	0	0	0	1	0
10:00	0	0	0	0	0	0	1	0
11:00	0	0	0	0	0	0	0	0
12:00	0	0	0	0	0	0	0	0
13:00	0	0	0	0	0	0	0	0
14:00	0	0	0	0	0	0	0	0
15:00	0	0	0	0	0	0	0	0
16:00	0	0	0	0	0	1	0	0
17:00	0	0	0	0	0	0	0	0
18:00	0	0	1	0	0	0	0	0
19:00	0	0	0	0	0	0	0	0
20:00	0	0	0	1	0	0	0	0
21:00	0	0	0	0	0	0	0	0
8:00	1	0,68	1	0	0	0,32	0	0
9:00	0	0	0	0	1	0	0	0
10:00	0	0	0	0	1	0	0	0
11:00	0,11111111	0,88888889	0	0	0	0	0	0
12:00	0,92888889	0	0	0	0	0	0,07111111	0
13:00	0	0	0	0	0	0	0	0
14:00	0	1	0	0	0	0	0	0
15:00	0	1	1	0	0	0	0	0
16:00	0	1	1	1	0	0	0	0
17:00	0	0	0	1	0	0	0	0
18:00	0	0	0	1	0	0	0	0

Ilustración 5.8 Hoja Excel – Programa parte III

En la última parte de la hoja “Programa” están las restricciones de horario. Estas restricciones están implementadas en el modelo de tal forma que la matriz que se observa en la Ilustración 5.8 no puede ser mayor que 1. Esto significa que un mismo profesor no puede dar clase a más de un subgrupo en la misma hora, del mismo día, del mismo cuatrimestre.

5.1. MODELO MATEMÁTICO

$$\text{Maximizar} \quad \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij} \cdot (10 - P_{ij})$$

$$\text{sujeto a} \quad \sum_{i=1}^n x_{ij} \cdot H_i \leq C_{j_{max}} \quad j = 1 \dots m \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \cdot H_i \geq C_{j_{min}} \quad j = 1 \dots m \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 0, 1 \quad j = 1 \dots m \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} \cdot H_i = H_i \quad i = 1 \dots n \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n \sigma_{ik} \cdot x_{ij} \leq 1 \quad j = 1 \dots m, \quad k = 1 \dots z \quad (5)$$

Donde los elementos son:

- **Variables de decisión:** x_{ij} donde i hace referencia a los subgrupos y va desde 1 hasta n , y j hace referencia a los profesores y va desde 1 hasta m . Estas variables solo pueden tomar valores 1 si se ha asignado un subgrupo a un profesor, o 0 si no se ha asignado.

- **Coefficientes de la función objetivo:** $(10 - P_{ij})$ que es el coste de oortuidad de las preferencias de asignaturas que tiene cada profesor.
- **Restricciones (1) y (2):** implica que la suma de las variables de decisión x_{ij} de todos los subgrupos multiplicadas por el respectivo número de horas de cada subgrupo H_i tiene que estar entre la capacidad mínima C_{jmin} y la capacidad máxima C_{jmax} para cada profesor j .
- **Restricciones (3) y (4):** la restricción (3) supone que las variables x_{ij} de decisión no pueden ser mayores de 1 y la restricción 4 implica que para cada subgrupo, la suma de las variables de decisión x_{ij} de todos los profesores multiplicada por el número de horas de cada subgrupo H_i , tiene que ser obligatoriamente igual al número de horas de cada subgrupo H_i , para que de esta forma no quede ninguna hora pendiente de docencia.
- **Restricción (5):** es la restricción de horario. Los valores σ_{ik} se corresponden con los valores de la matriz de la Ilustración 5.5, siendo i el número de fila (que hace referencia al subgrupo) y k el número de columna (que hace referencia al cuatrimestre, al día y a la hora). Esta restricción está implementada en la matriz que se observa en la Ilustración 5.8, donde k son las filas (correspondiente al cuatrimestre, el día y la hora) y j son las columnas (correspondientes a cada profesor) de tal forma que cada celda es la suma del producto de $\sigma_{ik} \cdot x_{ij}$ para cada k y para cada j .

6. Pruebas y resultados

En este capítulo se verá una presentación detallada de los resultados obtenidos al realizar diversas pruebas de validación del modelo sobre una reducción de variables del modelo construido. Para realizar este análisis se han realizado tres experimentos diferentes modificando, en cada uno de ellos, parámetros y restricciones de tal forma que con los tres se testeé el funcionamiento del sistema en condiciones controladas.

6.1. PRIMERA PRUEBA

En esta primera prueba, se ha resuelto el modelo con los datos originales. El resultado es el reflejado en la Ilustración 6.1.

Como se puede apreciar, las variables de decisión solo toman los valores 0 o 1. Esto significa que la clase de un subgrupo solo puede estar impartida por un profesor.

Total	590	Capacidad efectiva máxima			
		145,5	170	138	194
		Capacidad efectiva mínima			
		90,21	105,4	85,56	120,28

Designación	TOTAL	Asignado	Pendiente	RODRIGO	ELENA	MARCOS	ÁLVARO
		590	0	95	170	135	190
EIE11T	50	50	0	0	1	0	0
EIT12A	15	15	0	0	0	1	0
EIO11A	15	15	0	0	0	1	0
EIO12A	15	15	0	0	0	0	1
EIO11L	10	10	0	0	1	0	0
EIO12L	10	10	0	0	0	1	0
IOIE21T	50	50	0	0	0	0	1
IOIE21S	10	10	0	0	0	0	1
IOIO22L	15	15	0	0	1	0	0
DEIO132L	5	5	0	0	0	0	1
DSPLIO131T	50	50	0	0	0	1	0
DSPLIO131S	10	10	0	0	0	0	1
DSPLIO131L	5	5	0	0	0	0	1
GEIT131T	50	50	0	1	0	0	0
CGEMLPG1A	15	15	0	0	1	0	0
CGEMLPG2A	15	15	0	0	0	0	1
DSPLMLPG1T	45	45	0	0	0	1	0
DSPLMLPG1A	15	15	0	0	0	0	1
DSPLMLPG1L	15	15	0	0	0	0	1
DOLMLPG1T	45	45	0	1	0	0	0
DOLMLPG2S	15	15	0	0	0	0	1
DOLMLPG1A	10	10	0	0	0	0	1
DOLMLPG1L	10	10	0	0	0	0	1
DOLMLPG2L	15	15	0	0	0	0	1
OPMIQPG1T	35	35	0	0	1	0	0
OPMIQPG1S	15	15	0	0	1	0	0
OPMIQPG1A	15	15	0	0	1	0	0
OPMIQPG2L	15	15	0	0	1	0	0

158

Ilustración 6.1 Resultado obtenido en la primera prueba

Observando este resultado junto con los datos del horario de los que se disponía (Ilustración 6.2), se puede apreciar que no existen incompatibilidades de horario, es decir, que a ninguno de los profesores se le ha asignado docencia en dos subgrupos cuya clase sea en el mismo horario.

Por otra parte, observando la Ilustración 6.1, se aprecia que las restricciones que acotan la capacidad efectiva de cada profesor están cubiertas, ya que las horas asignadas a cada uno están comprendidas entre el número mínimo y el número máximo.

1°	L	M	X	J	V
8:00				DEIO32L	
9:00	DSPLIO31S			DEIO32L	
10:00		DOLMLPG1T			
11:00	GEIT31T	DOLMLPG1T			OPMIQPG1T
12:00	DSPLMLPG1L	DOLMLPG1T		GEIT31T	OPMIQPG1T
13:00	DSPLMLPG1L			GEIT31T	
14:00	DSPLMLPG1L				
15:00					
16:00	DSPLMLPG1T,DSPLMLPG1A	CGEMLPG2A	CGEMLPG1A		
17:00	DSPLMLPG1T,DSPLMLPG1A	CGEMLPG2A	CGEMLPG1A		
18:00	DSPLMLPG1T,DSPLMLPG1A	CGEMLPG2A	CGEMLPG1A		IOIE21T
19:00	DSPLMLPG1T,DSPLMLPG1A	CGEMLPG2A	CGEMLPG1A	IOIE21S,IOIO22L	
20:00	DSPLMLPG1T,DSPLMLPG1A		CGEMLPG1A,IOIE21T,IOIE21T	IOIE21S,IOIO22L	
21:00					

2°	L	M	X	J	V
8:00	DOLMLPG2S	OPMIQPG1A			OPMIQPG2L
9:00		DOLMLPG1A	EIE11T	EIO112A	OPMIQPG2L
10:00	OPMIQPG1S	DOLMLPG1A		EIO112A	OPMIQPG1A
11:00			DSPLIO31L		
12:00	EIE11T	EIE11T	DSPLIO31L	DSPLIO31S	
13:00	EIO11A	EIO11A	DSPLIO31T		
14:00		EIO11A	DSPLIO31T	DOLMLPG2L	
15:00	DOLMLPG1L		DSPLIO31T	DOLMLPG2L	EIT112A
16:00	DOLMLPG1L			DOLMLPG2L	EIT112A
17:00	DOLMLPG1L				
18:00		EIO112L	EIO111L	EIO112L	
19:00	EIO111L		EIO111L	EIO112L	
20:00	EIO111L	EIO112L			
21:00					

Ilustración 6.2 Datos de horarios

6.1.1. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Para realizar un análisis de sensibilidad de este resultado, es necesario eliminar la restricción que impide que las variables de decisión tomen valores no enteros. Para poder obtener un análisis de sensibilidad con variables enteras, se puede emplear la Relajación Lagrangiana, aunque en OpenSolver no está disponible y suele ser necesario programarla para cada caso particular.

La Relajación Lagrangiana emplea conceptos de la teoría de la dualidad para tratar el conjunto de restricciones de un problema de manera especial. Las restricciones complicadas se transfieren a la función objetivo, donde son ponderadas a través de parámetros de penalización denominados Multiplicadores de LaGrange. De esta forma el problema original se transforma en un problema relajado, y las restricciones restantes, en general, originan subproblemas que pueden ser resueltos con mayor facilidad.

Como ya se ha dicho, en OpenSolver no puede aplicarse esta técnica, por lo que hay que realizar una esta variación en la restricción (3): en lugar de forzar a las variables de decisión a ser enteras, se las obliga a ser menores o iguales que 1. El resultado varía un poco, tal y como se ve en la Ilustración 6.3.

Total	590	Capacidad efectiva máxima						
		145,5	170	138	194			
		Capacidad efectiva mínima						
		90,21	105,4	85,56	120,28			
Designación	TOTAL	Asignado	Pendiente	RODRIGO	ELENA	MARCOS	ÁLVARO	
		589,9999999	6,5E-08	90,21	169,9999999	135,79	194	
EIE11T	50	50	0	0	1	0	0	
EIT12A	15	15	0	0	0	1	0	
EIOI11A	15	15	0	0	0,28066667	0,71933333	0	
EIOI12A	15	15	0	0	0	1	0	
EIOI11L	10	10	0	0	0	0	1	
EIOI12L	10	10	0	0	0	0	1	
IOIE21T	50	49,99999995	5E-08	0	0,028571429	0	0,9714286	
IOIE21S	10	10	0	0	0	0	1	
IOIO22L	15	15	0	0	1	0	0	
DEIOI32L	5	5	0	0	0	0	1	
DSPLIOI31T	50	50	0	0	0	1	0	
DSPLIOI31S	10	10	0	0	0	0	1	
DSPLIOI31L	5	5	0	0	0	0	1	
GEIT31T	50	50	0	1	0	0	0	
CGEMLPG1A	15	14,99999999	1,5E-08	0	0,97142857	0	0,0285714	
CGEMLPG2A	15	15	0	0	0	0	1	
DSPLMLPG1T	45	45	0	0	0	1	0	
DSPLMLPG1A	15	15	0	0	0	0	1	
DSPLMLPG1L	15	15	0	0	0	0	1	
DOLMLPG1T	45	45	0	0,8935556	0,10644444	0	0	
DOLMLPG2S	15	15	0	0	0	0	1	
DOLMLPG1A	10	10	0	0	0	0	1	
DOLMLPG1L	10	10	0	0	0	0	1	
DOLMLPG2L	15	15	0	0	0	0	1	
OPMIQPG1T	35	35	0	0	1	0	0	
OPMIQPG1S	15	15	0	0	1	0	0	
OPMIQPG1A	15	15	0	0	1	0	0	
OPMIQPG2L	15	15	0	0	1	0	0	
								156,1428571

Ilustración 6.3 Segundo resultado de la primera prueba

El análisis de sensibilidad se divide en dos partes: las variables de decisión y las restricciones.

La primera parte, el informe de sensibilidad de las variables de decisión (Ilustración 6.4), nos indica el intervalo de variación para cada parámetro de la función objetivo que permite mantener la actual solución óptima (asumiendo que el resto de los parámetros son constantes).

El intervalo de variación del coeficiente que pondera las variables x_{ij} en la función objetivo sin variarla es el comprendido entre las dos últimas columnas de la Ilustración 6.4

Por ejemplo, el coeficiente que pondera la variable x_{ij} para i correspondiente a EIE11T y j correspondiente a RODRIGO, es 28. Este coeficiente podría aumentar infinito y disminuir en 16 sin que variase la solución óptima obtenida.

El coste reducido de una variable de decisión se define como lo que tendría que cambiar el coeficiente de dicha variable, en la función objetivo, para tener un valor positivo. Si el valor óptimo de una variable es cero, como en el caso de la celda I8 (EIE11T ÁLVARO), entonces el coste reducido es el incremento o decremento permisible que corresponde a dicha variable, en este caso decremento. Mientras que, si el valor óptimo de una variable es positivo, como en el caso de la celda G8 (EIE11T ELENA), el coste reducido es cero.

Cells	Name	Final Value	Reduced Costs	Objective Value	Allowable Increase	Allowable Decrease
H9	EIT112A MARCOS	1	0	12	0	1E+100
I9	EIT112A ÁLVARO	0	0,14285714	10	1E+100	0,142857143
F10	EIOI11A RODRIGO	0	16	28	1E+100	16
G10	EIOI11A ELENA	0,28066667	0	12	0	0
H10	EIOI11A MARCOS	0,71933333	0	12	0	0
I12	EIOI11L ÁLVARO	1	0	10	0,571428651	1E+100
G14	IOIE21T ELENA	0,028571429	0	12	1,300000221	0,333333555
I14	IOIE21T ÁLVARO	0,97142857	0	4	0,333333555	1,300000221
F15	IOIE21S RODRIGO	0	12,714286	24	1E+100	12,71428571

Ilustración 6.4 Análisis de sensibilidad de las variables de decisión

La segunda parte de este análisis, el análisis de las restricciones es comúnmente conocido como el análisis del precio sombra de cada una de las restricciones.

Para realizar este análisis, se han separado las distintas restricciones, De esta forma se tiene: en la Ilustración 6.5 el análisis de la restricción que iguala las horas asignadas al número total de horas de cada subgrupo

(restricción (4)); en la Ilustración 6.6 la restricción (5) que impide que la matriz que multiplica el horario por los profesores sea mayor que 1, es decir, impide que se asignen dos subgrupos con el mismo horario a un mismo profesor; en la Ilustración 6.7 se observan las restricciones (1) y (2) que son las que acotan el número de horas asignadas a cada profesor; y por último, en la Ilustración 6.8 está la restricción (3) adaptada, ya que como se ha comentado anteriormente, no es posible realizar un análisis de sensibilidad sobre variables enteras.

Cells	Name	Final Value	Shadow Price	RHS Value	Allowable Increase	Allowable Decrease
D8=C8	EIE11T Asignado	50	0,24	50	0	10,79
D9=C9	EIT112A Asignado	15	0,8	15	0	15
D10=C10	EIOI11A Asignado	15	0,8	15	2,21	10,79
D11=C11	EIOI12A Asignado	15	0,8	15	0	15
D12=C12	EIOI11L Asignado	10	1,1428571	10	0	1
D13=C13	EIOI12L Asignado	10	1,1428571	10	0	1
D14=C14	IOIE21T Asignado	50	0,24	50	0	1,428571429
D15=C15	IOIE21S Asignado	10	1,1285714	10	0	10

Ilustración 6.5 Análisis de sensibilidad de la restricción (4)

Cells	Name	Final Value	Shadow Price	RHS Value	Allowable Increase	Allowable Decrease
X8<=1	1º L 9:00 ÁLVARO	1	-4,5714286	1	0	0,1
U10<=1	1º L 11:00 RODRIGO	1	-10	1	0	0,0958
X47<=1	1º X 20:00 ÁLVARO	1	-0,85714286	1	0,68	0
X49<=1	1º J 8:00 ÁLVARO	1	-2,2857143	1	0	0,2
X60<=1	1º J 19:00 ÁLVARO	1	-5,8571429	1	0	0
X84<=1	2º L 15:00 ÁLVARO	1	-4,5714286	1	0	0,1
X88<=1	2º L 19:00 ÁLVARO	1	-0,57142857	1	0	0,1
X92<=1	2º M 9:00 ÁLVARO	1	-4,5714286	1	0	0,1
X101<=1	2º M 18:00 ÁLVARO	1	-0,57142857	1	0	0,1
X108<=1	2º X 11:00 ÁLVARO	1	-5,2857143	1	0	0,2
W110<=1	2º X 13:00 MARCOS	1	-1,1428571	1	0	0,0842

Ilustración 6.6 Análisis de sensibilidad de la restricción (5)

Cells	Name	Final Value	Shadow Price	RHS Value	Allowable Increase	Allowable Decrease
F7<=F3	RODRIGO	90,21	0	145,5	1E+100	55,29
G7<=G3	ELENA	170	0	170	10,79	2,21
H7<=H3	MARCOS	135,79	0	138	1E+100	2,21
I7<=I3	ÁLVARO	194	-0,14285714	194	1	2,21
F7>=F4	RODRIGO	90,21	0	90,21	4,79	2,21
G7>=G4	ELENA	170	0	105,4	64,6	1E+100
H7>=H4	MARCOS	135,79	0	85,56	50,23	1E+100
I7>=I4	ÁLVARO	194	0	120,28	73,72	1E+100

Ilustración 6.7 Análisis de sensibilidad de las restricciones (1) y (2)

Cells	Name	Final Value	Shadow Price	RHS Value	Allowable Increase	Allowable Decrease
F8<=1	EIE11T RODRIGO	0	0	1	1E+100	1
G8<=1	EIE11T ELENA	1	0	1	1E+100	0
H8<=1	EIE11T MARCOS	0	0	1	1E+100	1
I8<=1	EIE11T ÁLVARO	0	0	1	1E+100	1
F9<=1	EITI12A RODRIGO	0	0	1	1E+100	1
G9<=1	EITI12A ELENA	0	0	1	1E+100	1
H9<=1	EITI12A MARCOS	1	0	1	1E+100	0
I9<=1	EITI12A ÁLVARO	0	0	1	1E+100	1

Ilustración 6.8 Análisis de sensibilidad de la restricción (3)

En esta parte, el parámetro más importante es el precio sombra, que se define como la tasa de cambio del valor óptimo de la función objetivo ante la modificación marginal del lado derecho de una restricción. Una modificación marginal es aquella que permite conservar la base óptima del problema, es decir, que se conserven las restricciones originales en el nuevo escenario.

Como se puede observar, la mayoría de las restricciones tienen precio sombra cero. Esto significa que son restricciones inactivas, es decir, que tienen holgura o excedente, que no están satisfechas en su valor límite.

En la restricción (4), la que obliga a que todas las horas asignadas a cada subgrupo sean iguales a las horas totales de cada subgrupo (Ilustración 6.5) sí que hay precios sombra distintos de cero. Por ejemplo, para la celda con restricción D9=C9 (EITI12A Asignado), el precio sombra es 0,8

y el valor de la restricción (lado derecho) es igual a 50. Para este parámetro (lado derecho) se permite una disminución de 15 y el precio sombra de magnitud 0,8 seguirá siendo válido. Esto significa que si, por ejemplo, el lado derecho de la restricción disminuye en 5 unidades y el resto de los parámetros del modelo permanecen constantes, el nuevo valor óptimo de la función objetivo será:

$$156,143 - 5 * 0.8 = 152,143$$

Ahora bien, si la variación del lado derecho es mayor de 15 unidades, no se puede utilizar el precio sombra para poder predecir cuál será el nuevo valor óptimo. Esto se debe a que cambia la base óptima, es decir, que la nueva solución no tendrá las mismas restricciones activas.

También se observan precios sombra negativos en la Ilustración 6.6, para la restricción (5), la que fuerza a que la matriz de horarios sea menor o igual que 1. Observando estos datos junto con el horario (Ilustración 6.2), observamos dos restricciones interesantes: la del primer cuatrimestre miércoles a las 20:00 ($X_{47} \leq 1$) y la del primer cuatrimestre jueves a las 19:00 ($X_{60} \leq 1$). Ambas corresponden a horas con más de una asignatura que al profesor Álvaro le va bien impartir. Si cambiamos estas asignaturas de horario, como se aprecia en la Ilustración 6.10, el resultado mejora, como se ve en la Ilustración 6.9.

Designación	TOTAL	Asignado	Pendiente	RODRIGO	ELENA	MARCOS	ÁLVARO
		590	0	90,21	169,9999999	135,79	194
EIE11T	50	50	0	0	1	0	0
EIT12A	15	15	0	0	0	1	0
EIO11A	15	15	0	0	0,28066667	0,7193333	0
EIO12A	15	15	0	0	0	1	0
EIO11L	10	10	0	0	0	0	1
EIO12L	10	10	0	0	0	0	1
IOIE21T	50	50	0	0	0,32	0	0,68
IOIE21S	10	10	0	0	0	0	1
IOIO22L	15	15	0	0	1	0	0
DEIO32L	5	5	0	0	0	0	1
DSPLIO31T	50	50	0	0	0	1	0
DSPLIO31S	10	10	0	0	0	0	1
DSPLIO31L	5	5	0	0	0	0	1
GEIT31T	50	50	0	1	0	0	0
CGEMPLG1A	15	15	0	0	0	0	1
CGEMPLG2A	15	15	0	0	0	0	1
DSPLMLPG1T	45	45	0	0	0	1	0
DSPLMLPG1A	15	15	0	0	0	0	1
DSPLMLPG1L	15	15	0	0	0	0	1
DOLMLPG1T	45	45	0	0,8935556	0,10644444	0	0
DOLMLPG2S	15	15	0	0	0	0	1
DOLMLPG1A	10	10	0	0	0	0	1
DOLMLPG1L	10	10	0	0	0	0	1
DOLMLPG2L	15	15	0	0	0	0	1
OPMIQPG1T	35	35	0	0	1	0	0
OPMIQPG1S	15	15	0	0	1	0	0
OPMIQPG1A	15	15	0	0	1	0	0
OPMIQPG2L	15	15	0	0	1	0	0
							155,56

Ilustración 6.9 Resultado mejorado de la primera prueba

1°	L	M	X	J	V
8:00				DEIO32L	
9:00	DSPLIO31S			DEIO32L	
10:00		DOLMLPGIT			
11:00	GEIT31T	DOLMLPGIT			OPMIQPGIT
12:00	DSPLMLPGIL	DOLMLPGIT		GEIT31T	OPMIQPGIT
13:00	DSPLMLPGIL			GEIT31T	
14:00	DSPLMLPGIL				
15:00					
16:00	DSPLMLPGIT,DSPLMLPG1A	CGEMPLG2A	CGEMPLG1A		
17:00	DSPLMLPGIT,DSPLMLPG1A	CGEMPLG2A	CGEMPLG1A	CGEMPLG1A	
18:00	DSPLMLPGIT,DSPLMLPG1A	CGEMPLG2A	CGEMPLG1A	IOIO22L	IOIE21T
19:00	DSPLMLPGIT,DSPLMLPG1A	CGEMPLG2A	CGEMPLG1A	IOIE21S	
20:00	DSPLMLPGIT,DSPLMLPG1A		IOIE21T	IOIE21S,IOIO22L	
21:00					

Ilustración 6.10 Datos de horario con la modificación de mejora

6.2. SEGUNDA PRUEBA

En esta segunda prueba, se ha intentado resolver el modelo variando el número de horas de algunos subgrupos para que el total de horas fuera menor al total de horas mínimas que debe tener asignado cada profesor. Obviamente esta modificación ha provocado que Excel de un error (Ilustración 6.11) y no pueda encontrar la solución óptima, ya que hay un conflicto en la restricción (2) al forzar que las horas asignadas a cada profesor sean *mayores o iguales* que el número mínimo de horas.

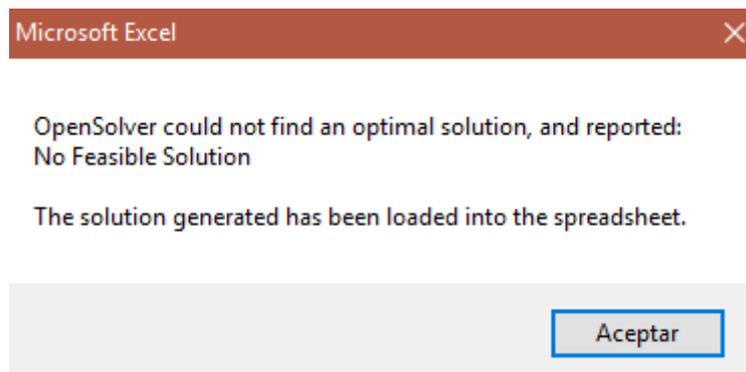


Ilustración 6.11 Mensaje de error de Excel

Total	385	Capacidad efectiva máxima			
		145,5	170	138	194
		Capacidad efectiva mínima			
		90,21	105,4	85,56	120,28

Designación	TOTAL	Asignado	Pendiente	RODRIGO	ELENA	MARCOS	ÁLVARO
		401,4499981	-16,44999806	90,21	105,4	85,559998	120,28
EIE11T	35	35,00000004	-3,5E-08	0	0,011428571	0,9885714	0
EIT12A	5	5	0	0	0	0	1
EIOI11A	5	5	0	0	0	0	1
EIOI12A	5	5	0	0	0	0	1
EIOI11L	10	10	0	0	0	1	0
EIOI12L	10	10	0	0	1	-0,978	0,978
IOIE21T	45	45	0	0	1	0	0
IOIE21S	10	10	0	0	1	0	0
IOIOI22L	5	5	0	0	0	0	1
DEIOI32L	5	5	0	0	0	0	1
DSPLIOI31T	45	44,99999802	1,98E-06	-0,0164444	0	1,0164444	0
DSPLIOI31S	10	10	0	0	0	0	1
DSPLIOI31L	5	5	0	0	0	0	1
GEIT31T	45	45	0	1	0	0	0
CGEMLPG1A	5	5	0	0	0	0	1
CGEMLPG2A	5	5	0	0	0	0	1
DSPLMLPG1T	35	35	0	1	0	0	0
DSPLMLPG1A	5	21,45	-16,45	2,19	0	1	1,1
DSPLMLPG1L	5	5	0	0	0	0	1
DOLMLPG1T	20	20	0	0	0	0	1
DOLMLPG2S	5	5	0	0	0	0	1
DOLMLPG1A	10	10	0	0	0	0	1
DOLMLPG1L	10	10	0	0	0	0	1
DOLMLPG2L	5	5	0	0	0	0	1
OPMIQPG1T	25	25	0	0	1	0	0
OPMIQPG1S	5	5	0	0	1	0	0
OPMIQPG1A	5	5	0	0	1	0	0
OPMIQPG2L	5	5	0	0	1	0	0

189,5746663

Ilustración 6.12 Resultado obtenido en la segunda prueba

El resultado obtenido con esta variación es el mostrado en la Ilustración 6.12. Al no obtenerse un resultado óptimo, OpenSolver no puede ofrecer un análisis de sensibilidad. Pero de esto se puede sacar como conclusión que, si o bien variamos el número de horas de cada subgrupo o bien disminuimos los límites inferiores de capacidades efectivas de cada profesor, de forma que ambos sean al menos iguales, esta herramienta podía encontrar una solución óptima y por tanto realizar un análisis de sensibilidad.

6.3. TERCERA PRUEBA

En esta tercera prueba se han modificado los horarios de algunos subgrupos para provocar incompatibilidades de horarios en los profesores, de tal forma que si no se elimina la restricción (5) que aseguraba que a un mismo profesor no se le asignara más de un subgrupo con el mismo horario, el programa muestra un mensaje (Ilustración 6.13) y no es capaz de encontrar una solución óptima (Ilustración 6.14).

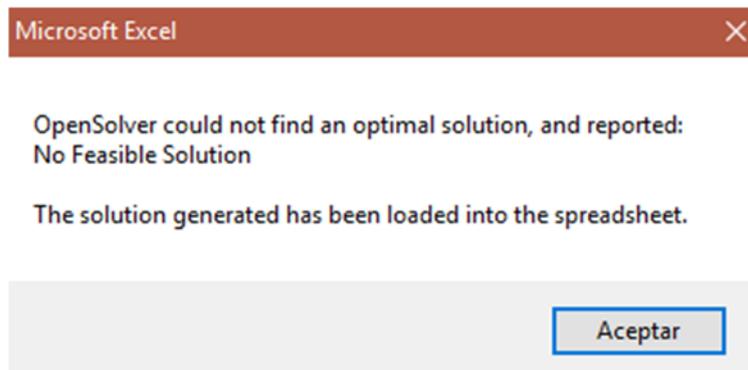


Ilustración 6.13 Mensaje de error de Excel

Total	590	Capacidad efectiva máxima			
		145,5	170	138	194
		Capacidad efectiva mínima			
		90,21	105,4	85,56	120,28

Designación	TOTAL	Asignado	Pendiente	RODRIGO	ELENA	MARCOS	ÁLVARO
		590	0	145,5	112,5	138	194
EIE11T	50	50	0	0	1	0	0
EIT112A	15	15	0	1	0	0	0
EIO111A	15	15	0	0	1	0	0
EIO112A	15	15	0	0	1	0	0
EIO111L	10	10	0	1	0	0	0
EIO112L	10	10	0	0	0	1	0
IOIE21T	50	50	0	0	-1	1	1
IOIE21S	10	10	0	0	0	0	1
IOIO22L	15	15	0	0	1	0	0
DEIOI32L	5	5	0	0	0	0	1
DSPLIOI31T	50	50	0	0	0,06	0,66	0,28
DSPLIOI31S	10	10	0	0	0	0	1
DSPLIOI31L	5	5	0	0	0	0	1
GEIT131T	50	50	0	0	1	0	0
CGEMPLPG1A	15	15	0	0	1	0	0
CGEMPLPG2A	15	15	0	0	1	0	0
DSPLMLPG1T	45	45	0	0	0	1	0
DSPLMLPG1A	15	15	0	0	0	0	1
DSPLMLPG1L	15	15	0	0	0	0	1
DOLMLPG1T	45	45	0	-5,45	5,45	0	1
DOLMLPG2S	15	15	0	0	0	0	1
DOLMLPG1A	10	10	0	0	0	0	1
DOLMLPG1L	10	10	0	1	0	0	0
DOLMLPG2L	15	15	0	1	0	0	0
OPMIQPG1T	35	35	0	8,45	-7,45	0	0
OPMIQPG1S	15	15	0	1	0	0	0
OPMIQPG1A	15	15	0	1	0	0	0
OPMIQPG2L	15	15	0	1	0	0	0

604,92

Ilustración 6.14 Resultado no óptimo de la tercera prueba

Para que el programa no encuentre conflictos a la hora de resolver el modelo, se elimina la restricción (5). El resultado tras esta modificación se muestra en la Ilustración 6.15.

Total	590	Capacidad efectiva máxima			
		145,5	170	138	194
		Capacidad efectiva mínima			
		90,21	105,4	85,56	120,28

Designación	TOTAL	Asignado	Pendiente	RODRIGO	ELENA	MARCOS	ÁLVARO
		590	0	145	145	110	190
EIE11T	50	50	0	0	0	1	0
EIT12A	15	15	0	0	0	1	0
EIO11A	15	15	0	0	0	0	1
EIO12A	15	15	0	0	1	0	0
EIO11L	10	10	0	0	0	0	1
EIO12L	10	10	0	0	0	0	1
IOIE21T	50	50	0	0	1	0	0
IOIE21S	10	10	0	0	0	0	1
IOIO22L	15	15	0	0	0	0	1
DEIOI32L	5	5	0	0	0	0	1
DSPLIOI31T	50	50	0	1	0	0	0
DSPLIOI31S	10	10	0	0	0	0	1
DSPLIOI31L	5	5	0	0	0	0	1
GEIT31T	50	50	0	1	0	0	0
CGEMLPG1A	15	15	0	0	0	0	1
CGEMLPG2A	15	15	0	0	0	0	1
DSPLMLPG1T	45	45	0	0	0	1	0
DSPLMLPG1A	15	15	0	0	0	0	1
DSPLMLPG1L	15	15	0	0	0	0	1
DOLMLPG1T	45	45	0	1	0	0	0
DOLMLPG2S	15	15	0	0	0	0	1
DOLMLPG1A	10	10	0	0	0	0	1
DOLMLPG1L	10	10	0	0	0	0	1
DOLMLPG2L	15	15	0	0	0	0	1
OPMIQPG1T	35	35	0	0	1	0	0
OPMIQPG1S	15	15	0	0	1	0	0
OPMIQPG1A	15	15	0	0	1	0	0
OPMIQPG2L	15	15	0	0	1	0	0

154

Ilustración 6.15 Segundo resultado de la tercera prueba

6.3.1. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Para que sea capaz de realizar un análisis de sensibilidad, se modifica la restricción (3) diciendo que en lugar de ser enteras las variables de decisión, estas variables puedan ser ≤ 1 . Con estos cambios obtenemos el resultado que se muestra en la Ilustración 6.16.

Como se ha visto en la primera prueba, este resultado difiere un poco del óptimo conseguido en la Ilustración 6.15, pero sirve para realizar el análisis de sensibilidad.

Total	590	Capacidad efectiva máxima			
		145,5	170	138	194
		Capacidad efectiva mínima			
		90,21	105,4	85,56	120,28

Designación	TOTAL	Asignado	Pendiente	RODRIGO	ELENA	MARCOS	ÁLVARO
		590	0	90,21	170	135,79	194
EIE11T	50	50	0	0	1	0	0
EIT12A	15	15	0	0	0	1	0
EIOI11A	15	15	0	0	0,28066667	0,719333	0
EIOI12A	15	15	0	0	0	1	0
EIOI11L	10	10	0	0	0	0	1
EIOI12L	10	10	0	0	0	0	1
IOIE21T	50	50	0	0	0,62	0	0,38
IOIE21S	10	10	0	0	0	0	1
IOIO22L	15	15	0	0	0	0	1
DEIOI32L	5	5	0	0	0	0	1
DSPLIOI31T	50	50	0	0	0	1	0
DSPLIOI31S	10	10	0	0	0	0	1
DSPLIOI31L	5	5	0	0	0	0	1
GEIT31T	50	50	0	1	0	0	0
CGEMLPG1A	15	15	0	0	0	0	1
CGEMLPG2A	15	15	0	0	0	0	1
DSPLMLPG1T	45	45	0	0	0	1	0
DSPLMLPG1A	15	15	0	0	0	0	1
DSPLMLPG1L	15	15	0	0	0	0	1
DOLMLPG1T	45	45	0	0,8935556	0,10644444	0	0
DOLMLPG2S	15	15	0	0	0	0	1
DOLMLPG1A	10	10	0	0	0	0	1
DOLMLPG1L	10	10	0	0	0	0	1
DOLMLPG2L	15	15	0	0	0	0	1
OPMIQPG1T	35	35	0	0	1	0	0
OPMIQPG1S	15	15	0	0	1	0	0
OPMIQPG1A	15	15	0	0	1	0	0
OPMIQPG2L	15	15	0	0	1	0	0

149,96

Ilustración 6.16 Tercer resultado de la tercera prueba

Como se puede apreciar en este resultado y en el de la Ilustración 6.15, junto con los horarios modificados (Ilustración 6.17), existen incompatibilidades de horario en alguno de los profesores, como por ejemplo Marcos imparte clase al subgrupo EIOI11A y al subgrupo EIOI12A, ambos con horario primer cuatrimestre lunes a las 10:00.

Estas incompatibilidades pueden resolverse cambiando algunas de las variables de decisión que asignan subgrupos con el mismo horario al mismo profesor. A continuación, se exponen algunos ejemplos de cómo hacer variaciones independientes, es decir, variar sólo una variable en cada momento, afecta a la solución óptima.

1*	L	M	X	J	V
8:00	EIE11T,EI112A			DEIO132L	
9:00	DSPLUO131S			DEIO132L	
10:00	EIO11A,EIO12A,EIO11L,EIO12L,JOIE21T	DOLMLPG1T			
11:00	GEIT131T	DOLMLPG1T			OPMIQPG1T
12:00	DSPLMLPGIL	DOLMLPG1T,EIE11T,EI12A,EIO11A,EIO12A,EIO11L,OPMIQPG2L, EIO12L,DOLMLPG1L,DOLMLPG2L,OPMIQPG1T,OPMIQPG1S,OPMIQPG1 A		GEIT131T	OPMIQPG1T
13:00	DSPLMLPGIL			GEIT131T	
14:00	DSPLMLPGIL				
15:00					
16:00	DSPLMLPG1T,DSPLMLPG1A	CGEMLPG2A		CGEMLPG1A	
17:00	DSPLMLPG1T,DSPLMLPG1A	CGEMLPG2A		CGEMLPG1A	
18:00	DSPLMLPG1T,DSPLMLPG1A	CGEMLPG2A		CGEMLPG1A	IOIE21T
19:00	DSPLMLPG1T,DSPLMLPG1A	CGEMLPG2A		CGEMLPG1A	IOIE21S,JOIO122L
20:00	DSPLMLPG1T,DSPLMLPG1A			CGEMLPG1A,JOIE21T,JOIE21' IOIE21S,JOIO122L	
21:00					

2*	L	M	X	J	V
8:00	DOLMLPG2S	OPMIQPG1A			OPMIQPG2L
9:00		DOLMLPG1A			OPMIQPG2L
10:00	OPMIQPG1S	DOLMLPG1A	EIE11T	EIO12A	OPMIQPG1A
11:00			DSPLUO131L		
12:00	EIE11T	EIE11T	DSPLUO131L	DSPLUO131S	
13:00	EIO11A	EIO11A	DSPLUO131T		
14:00		EIO11A	DSPLUO131T	DOLMLPG2L	
15:00	DOLMLPGIL		DSPLUO131T	DOLMLPG2L	EIT12A
16:00	DOLMLPGIL			DOLMLPG2L	EIT12A
17:00	DOLMLPGIL				
18:00		EIO12L	EIO11L	EIO12L	
19:00	EIO11L		EIO11L	EIO12L	
20:00	EIO11L	EIO12L			
21:00					

Ilustración 6.17 Horarios modificados

- Si el subgrupo EIO11A en vez de estar repartido entre Marcos y Elena, solo lo diera Elena, la función objetivo no variaría y eliminaríamos una incompatibilidad horaria.
- Si al subgrupo EIO12A en lugar de darle clase Marcos, le diera clase Rodrigo, la solución empeoraría, valiendo ahora la función objetivo 165,96, pero se solucionaría la incompatibilidad horaria.
- Si al subgrupo OPMIQPG1T le diera clase Rodrigo en vez de Elena, la solución empeoraría bastante más: 183,96.

Y así podrían ir haciéndose varios cambios, ninguno rozaría la solución óptima obtenida en la primera prueba, pero podrían eliminarse estos conflictos de horario manualmente cambiando los valores de las variables de decisión.

7. Estudio económico

Una de las fases más importantes a la hora de realizar un proyecto técnico, es realizar un estudio económico de viabilidad, con la finalidad de analizar si es factible o no llevarlo a cabo en la práctica. Este capítulo está dedicado a repasar el coste económico que habría supuesto la realización de las diferentes etapas del proyecto, en caso de haber sido desarrollado por un equipo profesional externo contratado.

7.1. DESCRIPCIÓN DE LAS ETAPAS DE DESARROLLO

- **Definición del trabajo:** en esta primera etapa se ha realizado una toma de contacto con la investigación operativa y el problema de asignación de recursos. Para ello se ha investigado exhaustivamente los orígenes de este problema de asignación de docencia y las posibles metodologías existentes para optimizarlo, pasando por las diferentes herramientas de gestión empleadas por la Universidad de Valladolid, como son el Plan Estratégico y el Plan de Organización Docente.
- **Recopilación de información acerca del OpenSolver de Excel:** en esta etapa, se ha recopilado la información necesaria para aprender el manejo de la herramienta OpenSolver disponible en Excel.

- **Familiarización con el OpenSolver de Excel:** en esta tercera etapa se ha formulado el modelo matemático propuesto y se ha implementado en Excel para utilizar OpenSolver en su resolución.
- **Realización de pruebas y análisis de resultados:** una vez implementado el modelo en Excel, se ha procedido a la realización de diversas pruebas para obtener los resultados necesarios para el análisis de este método.
- **Edición de la documentación:** en esta última etapa se ha redactado el presente trabajo fin de grado, que recoge toda la información obtenida durante el desarrollo del mismo. Se ha procurado conseguir un escrito lo más ameno posible, intentando no desviarse de la cuestión principal.

7.2. CÁLCULO DE LOS COSTES

Para efectuar correctamente este estudio económico, se debe realizar un cálculo de las horas efectivas anuales para después poder determinar las tasas por hora del salario. Los días efectivos de trabajo anual se calculan en función de datos recopilados de años anteriores. De esta manera se podrá conocer el número de horas al año que habrían trabajado los profesionales involucrados en el desarrollo de este trabajo, y calcular el coste laboral.

En la Tabla 7.1 se recoge la estimación de las horas efectivas trabajadas a lo largo de los seis meses que ha durado este trabajo (estimado desde el 1 de febrero hasta el 10 de julio).

Tabla 7.1 Horas efectivas trabajadas

Días	160
Fines de semana	46
Festivos	4
Total estimado días efectivos	110 (160-46-4)
Total horas estimadas (6h/día)	660

7.2.1. COSTES DE PERSONAL

Se va a suponer que el personal que se habría contratado para realizar este trabajo es: un ingeniero para la parte técnica del modelado, pruebas y resolución del modelo, y un administrativo para la redacción del presente tomo.

Estos costes de personal van a ser los más importantes, ya que se trata de un trabajo de investigación en el que los requerimientos son principalmente humanos.

El ingeniero se encargaría de definir los objetivos del proyecto, realizar la búsqueda de información y herramientas necesarias, desarrollar el modelado del problema, llevar a cabo los experimentos y los análisis pertinentes de estos, y obtener unas conclusiones finales que condensen todo el conocimiento generado.

Mientras que el administrativo solo se encargaría de realizar la redacción del trabajo así como los informes correspondientes.

En la Tabla 7.2 se hace una estimación de las horas invertidas por cada uno de los técnicos en cada etapa del desarrollo del trabajo.

Tabla 7.2 Desglose de horas dedicadas en cada etapa

ETAPA	INGENIERO	ADMINISTRATIVO
1. Definición del trabajo	90	-
2. Recopilación de información acerca del OpenSolver de Excel	45	-
3. Familiarización con el OpenSolver de Excel	70	-
4. Realización de pruebas y análisis de resultados	175	-
5. Edición de la documentación	120	160
Total horas	500	160

Una vez definidas las horas empleadas en cada etapa de cada trabajador, ya se puede proceder al cálculo de los salarios. En la Tabla 7.3 se ven reflejados el salario total y la retribución horaria de cada trabajador. Se puede apreciar que la retribución horaria se ha calculado dividiendo la retribución en el periodo considerado entre las horas totales efectivas de dicho periodo.

Tabla 7.3 Salario de cada trabajador (en euros)

REMUNERACIÓN	INGENIERO	ADMINISTRATIVO
Sueldo bruto anual	25.000	9.500
Sueldo bruto en periodo considerado	11.044	4.197
Seguridad social (35%)	3.865,4	1.468,95
Total periodo considerado	14.909,4	5.665,95
Total coste horario	22,59	8,58

A continuación, con el número de horas dedicadas por cada empleado en cada etapa, y el coste por hora de cada trabajador, se hace el cálculo del coste de cada etapa y el porcentaje que supone del total. Esto se ven en la Tabla 7.4.

Tabla 7.4 Coste por etapas de cada trabajador (en euros)

ETAPA	COSTE INGENIERO	COSTE ADMINISTRATIVO	COSTE POR ETAPA	% DEL TOTAL
1. Definición del trabajo	2.033,1	-	2.033,1	16,05%
2. Recopilación de información acerca del OpenSolver de Excel	1.016,55	-	1.016,55	8,03%
3. Familiarización con el OpenSolver de Excel	1.581,3	-	1.581,3	12,48%
4. Realización de pruebas y análisis de resultados	3.953,25	-	3.953,25	31,21%
5. Edición de la documentación	2.710,8	1.372,8	4.083,6	32,23%
Costes totales	11.295	1.372,8	12.667,8	100%

7.2.2. COSTES DE AMORTIZACIÓN

Otros costes a considerar son los de amortización de los equipos utilizados durante el desarrollo del trabajo.

En la Tabla 7.5 se estiman los costes y la amortización (supuesta lineal a cuatro años) del software y el hardware empleado.

Tabla 7.5 Coste y amortización de los equipos empleados (en euros)

EQUIPO	COSTE
Ordenador Toshiba Satellite Pro C70-B-135	699
Windows 10	139
Microsoft Office 2013	119
Adobe Acrobat	89
Impresora BROTHER CP-7065DN	85
Total	1.131
Amortización anual del equipo	282,75
Amortización del equipo en el periodo considerado	124,91

7.2.3. COSTES DE MATERIAL

Una vez calculados los costes de material y de amortización de los equipos, falta evaluar los gastos que han supuesto los materiales empleados en la realización del trabajo. Estos se pueden observar en la Tabla 7.6.

Tabla 7.6 Costes de material (en euros)

MATERIAL	COSTE
Material de oficina	35
USB 3.0	16
Encuadernación	12
Consumibles de impresora	87
Total	150

7.2.4. COSTES GENERALES

Por último hay que considerar los costes indirectos. Estos son los relacionados con los recursos consumidos durante la realización del trabajo, representados en la Tabla 7.7.

Tabla 7.7 Distribución de gastos generales (en euros)

RECURSO	COSTE
Uso de oficina	375
Electricidad	55
Internet	35
Teléfono	50
Agua	7
Gas	13
Gasolina	65
Total	600

7.3. COSTES TOTALES

El coste del presente trabajo fin de grado se obtiene como la suma de los totales obtenidos en el apartado anterior. En la Tabla 7.8 se hace una recapitulación de estos costes, incluyendo el total y el porcentaje que cada uno de ellos suponen.

Tabla 7.8 Cálculo del coste total del trabajo (en euros)

CONCEPTO	COSTE	% DEL TOTAL
Costes de personal	12.667,8	93,54%
Costes de amortización	124,91	0,93%
Costes de materiales	150	1,10%
Costes generales	600	4,43%
Total coste horario	13.542,71	100%

En la Figura 7.1 Diagrama de costes del trabajo se puede apreciar de una manera más clara como, efectivamente, los costes más importantes son los del personal.

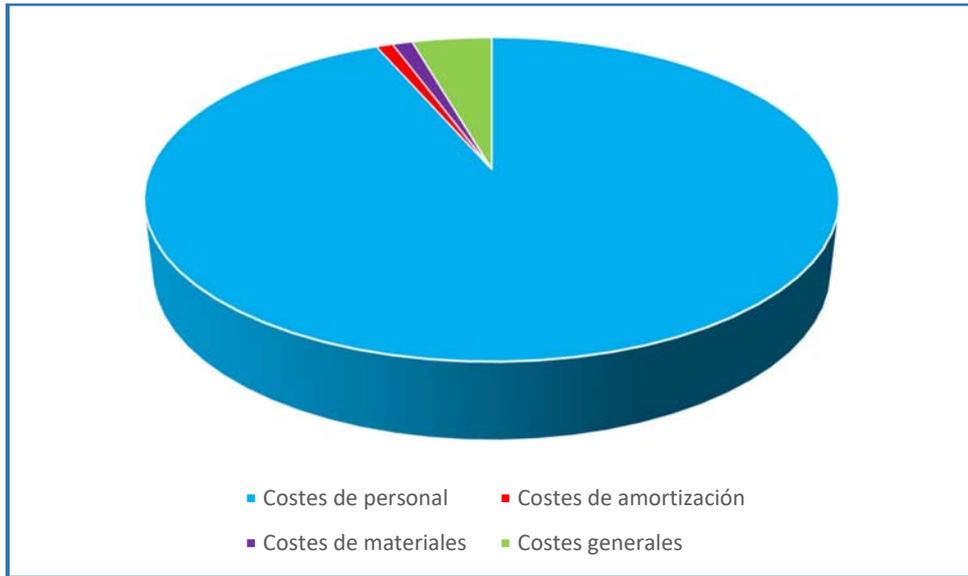


Figura 7.1 Diagrama de costes del trabajo

7.4. CÁLCULO DEL PRECIO DE VENTA DEL TRABAJO

Como se ha visto, el coste total que habría supuesto la realización de este trabajo es de 13.542,71 €.

Para calcular el precio de venta, se ha sumado un beneficio de un 25% junto con el 21% de IVA. En la Tabla 7.9 se muestra desglosado.

Tabla 7.9 Cálculo del precio de venta final (en euros)

Importe total	13.542,71
Beneficio del 25%	3.385,68
Total	16.928,39
IVA (21%)	3.554,96
Precio de venta final	20.483,35

8. Conclusiones y líneas de trabajo futuras

8.1. CONCLUSIONES

En este trabajo fin de grado se ha mostrado la utilidad de utilizar un modelo de programación lineal junto con hojas de cálculo Excel para resolver problemas de asignación complejos, como es el caso de la asignación de docencia en un departamento universitario.

El uso de la herramienta OpenSolver integrada en Excel, permite modelar el problema de una forma sencilla, ya que su modo de empleo es simple. Además, emplear Excel es muy útil para recopilar, manipular y presentar datos de manera fácil y clara.

Esta herramienta también proporciona un tiempo de resolución muy bajo. En el modelo reducido, con 4 profesores y 28 subgrupos, el tiempo de resolución apenas llega a los 20 segundos. Incluso en el modelo original, con 10 profesores y 138 subgrupos, el tiempo de resolución no llega al minuto, un tiempo muy favorable dada la complejidad del problema.

Con el análisis de sensibilidad, tal y como se ha visto en las pruebas realizadas, se pueden detectar conflictos de horarios, que pueden resolverse o bien reasignando subgrupos a otros profesores, o cambiando de horario los subgrupos que crean conflicto. Esta segunda opción es más complicada de realizar, ya que la distribución de horarios se hace junto con asignaturas de otros departamentos y está más limitada.

8.2. LÍNEAS DE TRABAJO FUTURAS

Como líneas de trabajo futuras se proponen la implementación en este mismo modelo de otras restricciones y prioridades que no se han podido introducir debido a la falta de tiempo. Estas podrían ser: la preferencia de horario entre mañana y tarde o la restricción de dar una clase en una sede y la clase de la hora siguiente en la otra. También podría complicarse un poco más la restricción de horario, de manera que se adapte más al horario real de clases impartidas en cada semana del cuatrimestre.

También otra línea de trabajo sería el estudio de métodos que permitieran la realización del análisis de sensibilidad con variables enteras, como podría ser la relajación lagrangiana que se ha comentado anteriormente.

9. Bibliografía

- Andrews, Kenneth R. 1971.** *The Concept of Corporate Strategy*. Homewood : Richard D. Irwin, 1971.
- Ansoff, H. Igor. 1976.** *La estrategia de la empresa*. Barcelona : Ediciones Universidad de Navarra, 1976.
- Benavides, C. 1998.** *Tecnología, innovación y empresa*. Madrid : Pirámide, 1998.
- Benavides, M., Escribá, M. y Roig, S. 2002.** : *La sostenibilidad de la ventaja competitiva basada en las características de los recursos estratégicos*. s.l. : Quaderns de Treball (publicación Universidad de Valencia), 2002. Nº 138.
- Bok, D. 2004.** *Universities in the Marketplace: The Commercialization of Higher Education*. s.l. : Princeton University Press, 2004.
- Consejería de Educación y Cultura, Región de Murcia. 2004.** *Planificación estratégica y mejora de la calidad en las universidades*. Murcia : Ligia Comunicación y Tecnología, SL, 2004.
- Consejo de Gobierno. 2012.** *Reglamento de Ordenación Académica de la Universidad de Valladolid*. 2012.
- David, Fred R. 2003.** *Conceptos de Administración Estratégica*. México : Pearson Educación, 2003.
- Dess, G. C. y Lumpkin, G. T. 2003.** *Dirección estratégica*. Madrid : McGraw-Hill, 2003.
- España.** Ley Orgánica 6/2001 de Universidades. : BOE, 24 de diciembre de 2001. núm. 307.
- García Falcón, J. M. 1987.** *Formulación de Estrategias en la Empresa*. Las Palmas de Gran Canaria : Caja Insular de Ahorros de Canarias, 1987.
- Grant, R. M. 1996.** *Dirección estratégica: conceptos, técnicas y aplicaciones*. Madrid : Civitas, 1996.

Hamel, G. y Prahalad, C. K. 1990. *El propósito estratégico*. s.l. : Harvard-Deusto Business Review, 1990. Vols. 41, pág. 75-94.

Hax, A. C. y Majluf, N. S. 1997. *Estrategias para el liderazgo competitivo*. Buenos Aires : Granica, 1997.

—. **1996.** *The Strategy Concept an Process: A Pragmatic Approach*. Madrid : Pentice Hall, 1996.

Johnson, G., Scholes, K. y Whittington, R. 2006. *Dirección estratégica*. : Pentice Hall, 2006.

Keller, G. 1983. *Academic Strategy: The Management Revolution in American Higher Education*. Michigan : Johns Hopkins University Press, 1983.

Munguía Ulloa, Lipicia y Protti Quesada, María A. 2005. *Investigación de Operaciones*. s.l. : EUNED, 2005.

Navas, J. E. y Guerras, L. A. 1998. *La dirección estratégica de la empresa. Teoría y aplicaciones*. Madrid : Cevitas, 1998.

Porter, Michael E. 1980. *Competitive Strategy. Techniques for Analyzing Industries and Competitors*. New York : Free Press, 1980.

Reichert, Sybille y Tauch, Christian. 2003. *Tendencias 2003: Progreso hacia el espacio Europeo de Educación Superior*. s.l. : Asociación Europea de Universidades, 2003.

Stoner, J. A. F., Freeman, R. E. y Gilbert Jr., D. R. 2003. *Administración*. México : Pentice Hall, 2003.

Thompson, A. A. y Strickland, A. J. 2004. *Administración estratégica: texto y casos*. México : McGraw-Hill Interamericana, 2004.

Ventura, J. 1994. *Análisis competitivo de la empresa: un enfoque estratégico*. Madrid : Civitas, 1994.