

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA

Programa de Doctorado:
AUTOMATIZACIÓN AVANZADA Y ROBÓTICA

Tesis Doctoral

**ASIGNACIÓN MULTICRITERIO DE TAREAS A
TRABAJADORES POLIVALENTES**

Ericka Zulema Rodríguez Calvo

Directora: Dra. Anna Maria Coves Moreno

Instituto de Organización y Control de Sistemas Industriales

Mayo de 2006

Esta tesis Doctoral ha sido desarrollada en el marco del proyecto “Organización del tiempo de trabajo, con jornada anualizada, en la industria y en los servicios” (OTTJAIS), DPI2001-2176.

No basta saber, se debe también aplicar. No es suficiente querer, se debe también hacer.
Johann Wolfgang Goethe.

A mi madre Guille por todo su cariño, apoyo, comprensión y sacrificios hechos por mí.
A mis hermanas por impulsarme, ayudarme y confiar siempre en mí.
A mis sobrinos por inspirarme.
A Ray por su complicidad y vivir juntos este reto.

Este trabajo es fruto del apoyo de muchas personas, por lo que quiero agradecer a:

Mi directora de tesis Anna Coves, por su gran ayuda, su tiempo y tenerme paciencia en muchos momentos.

A mi familia y amigos (evito poner nombres porque podría caer en alguna falta), por estar siempre que los necesito y hacerme pasar muy buenos momentos. A los que están en México por seguir a mi lado aunque pase el tiempo, y a los que han compartido esta etapa de mi vida en Barcelona por ser como mi familia, ayudarme, animarme, aguantarme y escucharme.

A Remei y Ramon por sus cuidados.

Al personal y compañeros del instituto de Organización y Control de sistemas Industriales por las facilidades prestadas en la realización de mi trabajo, en especial a Albert Corominas por darme la oportunidad de desarrollar esta Tesis Doctoral.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 2. CONCEPTOS BÁSICOS	5
2.1. Asignación de tareas como parte de la asignación del tiempo de trabajo...	6
2.2. Flexibilidad laboral	7
2.2.1. El uso de la flexibilidad laboral	9
2.2.2. Tipos de flexibilidad laboral	9
2.2.3. Ventajas e inconvenientes de la flexibilidad laboral interna	10
2.2.4. Marco de flexibilidad laboral para asignación de tareas	12
2.3. Personal polivalente	12
2.3.1. Formación de personal polivalente	13
2.3.2. Tipos de polivalencia del personal	14
2.3.3. Utilización de personal polivalente	15
2.3.4. Beneficios de la polivalencia	17
2.4. Decisión multicriterio en la asignación de tareas a personal polivalente ...	17
CAPÍTULO 3. OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN	21
3.1. Objetivos	21
3.2. Justificación	22
CAPÍTULO 4. ESTADO DEL ARTE	25
4.1. Organización del tiempo de trabajo (OTT)	25
4.1.1. Introducción	25
4.1.2. Softwares desarrollados para OTT	29
4.1.3. Aplicaciones en diferentes sectores	30
4.1.4. Método jerárquico (Corominas y Pastor.2000)	32
4.2. Asignación de tareas	33
4.2.1. El problema de asignación de tareas	34
4.2.2. Modelos y aplicaciones	34
4.3. Conclusiones del análisis del estado del arte	39
CAPÍTULO 5. CLASIFICACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL PROBLEMA DE ASIGNACIÓN	43
5.1. Características	44
5.1.1. Asignación (asignación, reasignación, concatenación)	44
5.1.2. Polivalencia del personal	44
5.1.3. Rendimiento	45
5.1.4. Demanda de personal	45
5.1.5. Relación de tareas	45
5.1.6. Carga de trabajo	45

5.1.7. Naturaleza de las tareas	46
5.1.8. Tipo de actividad	46
5.1.9. Disponibilidad requerida	46
5.1.10. Trabajo en equipo	46
5.1.11. Prioridad del personal	47
5.1.12. Preferencia del personal	47
5.1.13. Prioridad de las tareas	47
5.2. Otros factores a considerar	48
5.2.1. Cantidad de personal	49
5.2.2. Categorías del personal	49
5.2.3. Trabajo continuo en tareas	49
5.2.4. Dedicación a las tareas	49
5.2.5. Tamaño del horizonte de asignación	50
5.2.6. Cantidad de tipos de tareas	50
5.3. Resumen de las características en los antecedentes	50
5.4. Criterios de evaluación	52
5.4.1. Económicos	52
5.4.1.1. Coste de personal	52
5.4.1.2. Satisfacción de la demanda	53
5.4.2. Regularidad del trabajo	53
5.4.2.1. Intensidad de trabajo	53
5.4.2.2. Proporción de tiempo de dedicación a las tareas	54
5.4.2.3. Equidad entre las tareas	54
5.4.3. Preferencias	54
5.4.3.1. Preferencias del personal	55
5.4.3.2. Preferencias de las organizaciones	55
5.4.4. Criterios utilizados	56
CAPÍTULO 6. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	59
CAPÍTULO 7. MODELIZACIÓN DEL PROBLEMA	65
7.1. Modelo de asignación	67
7.1.1. Parámetros básicos del modelo	67
7.1.1.1. Índices	67
7.1.1.2. Datos y parámetros básicos	67
7.1.2. variables	67
7.1.2.1. variables asociadas al personal	68
7.1.2.2. Variables asociadas a la cobertura de la demanda de las tareas	69
7.1.3. Restricciones para los casos BP (básico individualizado) y BC (básico por categorías)	71
7.1.3.1. Restricciones asociadas a los intervalos continuos de asignación	73

7.1.3.1.1. Restricciones para los casos <i>BPR</i> (básico individualizado por rango) y <i>BCR</i> (básico por categorías y rango)	73
7.1.3.1.2. Restricciones para los casos <i>BPI</i> (básico individualizado por bloques) y <i>BCI</i> (básico por categorías y bloques)	75
7.1.3.2. Restricciones asociadas a la satisfacción exacta de la demanda	76
7.1.3.3. Restricciones asociadas a los intervalos totales de dedicación	76
7.1.4. Funciones objetivo para el modelo básico de asignación	77
7.1.4.1. Funciones objetivo para el caso <i>BP</i> (básico individualizado)..	77
7.1.4.2. Funciones objetivo para el caso <i>BC</i> (básico por categorías).....	79
7.2. Modelo de Reasignación/Concatenación	80
7.2.1. Datos y parámetros adicionales para el modelo reasignación/concatenación	81
7.2.2. Variables para los casos de reasignación/concatenación	81
7.2.3. Restricciones para los casos <i>RP/AP</i> (reasignación/concatenación individualizada) y <i>RC</i> (reasignación/concatenación por categorías)...	83
7.2.3.1. Restricciones asociadas a los intervalos continuos de asignación de las tareas	83
7.2.3.1.1. Restricciones para los casos <i>RPR/APR</i> (reasignación/concatenación individualizada por rango) y <i>RCR/ACR</i> (reasignación/concatenación por categorías y rango)	84
7.2.3.1.2. Restricciones para los casos <i>RPI/API</i> (reasignación/concatenación individualizada por bloque) y <i>RCR/ACR</i> (reasignación/concatenación por categorías y bloque)	84
7.2.3.2. Restricción asociada a la satisfacción exacta de la demanda ...	85
7.2.3.3. Restricciones asociadas a los intervalos de dedicación	85
7.2.4. Funciones objetivo para los casos <i>RP</i> (reasignación individualizado) / <i>AP</i> (concatenación individualizada)	86
7.2.5. Funciones objetivo para los casos <i>RC</i> (reasignación por categorías) / <i>AC</i> (concatenación por categorías)	87
7.3. Modelos multicriterio	87
7.3.1. Normalización de funciones	88
7.3.1.1. Funciones normalizadas para problemas tipo <i>BP</i> , <i>BPR</i> y <i>BPI</i> ..	88
7.3.1.2. Funciones normalizadas para problemas tipo <i>BC</i> , <i>BCR</i> y <i>BCI</i>	90
7.3.1.3. Funciones normalizadas para problemas tipo <i>RP/AP</i> , <i>RPR/APR</i> y <i>RPI/API</i>	90
7.3.1.4. Funciones normalizadas para los casos <i>RC/AC/RCR/CR</i> y <i>RCI/ACI</i>	92

7.3.2. Funciones objetivo multicriterio	93
7.3.3. Metodología multicriterio	95
7.4. Formalización de modelos multicriterios	96
7.4.1. Modelo <i>BP</i>	96
7.4.2. Modelo <i>BPR</i>	97
7.4.3. Modelo <i>BPI</i>	98
7.4.4. Modelo <i>BC</i>	99
7.4.5. Modelo <i>BCR</i>	100
7.4.6. Modelo <i>BCI</i>	101
7.4.7. Modelo <i>RP</i>	102
7.4.8. Modelo <i>RPR</i>	103
7.4.9. Modelo <i>RPI</i>	104
7.4.10. Modelo <i>RC</i>	105
7.4.11. Modelo <i>RCR</i>	106
7.4.12. Modelo <i>RCI</i>	107
7.4.13. Modelo <i>AP</i>	108
7.4.14. Modelo <i>APR</i>	108
7.4.15. Modelo <i>API</i>	109
7.4.16. Modelo <i>AC</i>	110
7.4.17. Modelo <i>ACR</i>	111
7.4.18. Modelo <i>ACI</i>	112
7.4.19. Compendio de diferentes modelos multicriterio	113
7.5. Nomenclatura	114
7.5.1. Índices	114
7.5.2. Datos y parámetros	114
7.5.2.1. Básicos	114
7.5.2.2. Datos y parámetros adicionales para reasignación/ concatenación	119
7.5.3. Variables del modelo	120
CAPÍTULO 8. EXPERIENCIA COMPUTACIONAL	123
8.1. Experimento I: Caso Real (<i>ESERVICIO</i>)	124
8.1.1. Definición de función objetivo	125
8.1.2. Definición de los parámetros	125
8.1.3. Definición de la tipología del caso <i>ESERVICIO</i>	126
8.1.4. Definición de datos	126
8.1.5. Ponderación de función objetivo	130
8.1.6. Resultados obtenidos	131
8.1.7. Resumen de las conclusiones del experimento del caso <i>ESERVICIO</i> ..	141
8.2. Experimento II: Caso Hipotético	142
8.2.1. Definición de parámetros	143
8.2.2. Definición de datos	144
8.2.3. Valores de ponderación	151

8.2.4. Tipos de problemas de asignación (<i>modelo BCR y BCI</i>)	151
8.2.4.1. Asignación por rango (<i>modelo BCR</i>)	152
8.2.4.2. Asignación por bloque (<i>modelo BCI</i>)	155
8.2.4.3. Comparación de la asignación rango vs. por bloque	160
8.2.4.4. Aumento progresivo del horizonte de asignación (<i>modelo BCR</i>)	162
8.2.4.5. Capacidad incompatible vs. compatible (<i>modelo BCR</i>).....	165
8.2.5. Reasignación (<i>modelo RCR</i>)	167
8.2.6. Concatenación (<i>modelo ACR</i>)	169
8.2.7. Conclusiones de la experimentación del caso hipotético	172
8.3. Software y equipo utilizado	174
CAPÍTULO 9. CONCLUSIONES Y EXTENSIONES FUTURAS	175
9.1. Conclusiones y aportaciones	175
9.2. Extensiones futuras	177
REFERENCIAS	181
ANEXOS	189
A.I. Tablas	A1
A.II. Índice de tablas	A67
A.III. Índice de figuras	A73

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

Las organizaciones deben ser cada vez más competitivas para poder mantenerse en el mercado económico actual. Ya no basta con tener la capacidad de satisfacer la demanda de producto¹, sino que los clientes esperan una calidad en la complacencia de sus demandas. Esto obliga a las organizaciones a ofrecer una gran variabilidad de productos, a satisfacer de forma inmediata la demanda, a reducir los costes, etc.; lo que implica cambios constantes para lograr los niveles de calidad deseados por los clientes y ser competitivos.

La creciente necesidad de las organizaciones en adaptarse a los cambios constantes de mercado, hace que en los últimos años se constate un avance progresivo en la importancia otorgada a la *Organización del Tiempo de Trabajo (OTT)*. Recientemente se ha impulsado en varios países (Reino Unido, España, Francia, etc.) una adaptación de la legislación laboral para posibilitar la flexibilidad laboral, que permita a las organizaciones adaptarse de manera eficaz a los cambios. Claver et al.(2000) mencionan que no es suficiente que las organizaciones reaccionen para adaptarse a los clientes, que es preciso además hacerlo con rapidez y llegar antes que los demás.

La *Asignación de Tareas (AT)* es un elemento más de la OTT, se parte de un conocimiento previo de la cantidad de personal disponible y de la demanda

¹ Este termino hacer referencia a bienes y/o servicios indistintamente.

de las tareas y se quiere satisfacer, de forma óptima, la demanda, utilizando el personal del que se dispone y siguiendo ciertas pautas de comportamiento. Estas pautas surgen por razones económicas, ergonómicas, de calidad, prioridad de las organizaciones, preferencias del personal, aspectos sociales, disposiciones legales, sistemas de trabajo, etc. Por ejemplo, dichas pautas pueden definir el tiempo que el personal ha de pasar de forma continua en una tarea, el tiempo requerido que se debe dedicar a realizar una tarea para llegar al nivel de entrenamiento adecuado, entre otros muchos más aspectos que son considerados al llevar acabo la AT.

Además de considerar las pautas antes mencionadas, la AT se rige por las características del ambiente que la rodea, donde debe considerarse el tipo de organización, la capacidad del personal, la diversidad de tareas, el nivel de flexibilidad de la organización, entre otros aspectos.

Como se mencionó anteriormente hay una gran diversidad de características que se presentan en la problemática de la AT, las cuales se mencionan en los antecedentes del tema en estudio. Se ha considerado importante realizar una clasificación del conglomerado de características que se pueden presentar en este campo y se ha propuesto una clasificación de ellas en esta tesis, la cual se presenta en el capítulo 5.

El análisis del estado del arte, permite visualizar que la problemática de reasignación con personal semi-polivalente no ha sido tratada, como lo indica también Campbell y Diaby (2002) en el trabajo realizado sobre AT. Donde además resaltan la importancia de abordar este tipo de problema, ya que las organizaciones en ocasiones requieren de cambios en la asignación de tareas realizada con anterioridad. Con esta tesis el modelo desarrollado, permite afrontar también este tipo de problemática que hasta el momento no ha sido considerada y que denominamos reasignación (capítulo 7).

La tesis, como su título indica, considera personal polivalente, por las ventajas que supone el uso de este tipo de personal y por ser una característica cada vez más valorada en las organizaciones. Lo señala Bergman (1994), que hace hincapié en la importancia de la polivalencia, mostrado en sus trabajos realizados en el ámbito hospitalario, sobre los procesos de reingeniería de negocios. También Campbell (1999) hace referencia al trabajo realizado por Foegen (1993), donde menciona que el hecho de que el personal esté capacitado para realizar múltiples tareas, no solo sirve para tomar ventaja competitiva a la organización, sino que genera también beneficios psicológicos para el personal.

Esta tesis doctoral se presenta como una aportación que se suma a la exploración del ámbito de la *organización de tiempo de trabajo*. Se basa en un análisis exhaustivo de la problemática de la asignación de tareas, en la que se hace una clasificación general de los tipos de problemas que pueden suscitarse, esto acorde a una ordenación de las características que se presentan en este campo y la diversidad de criterios de evaluación que han de ser considerados. Enfatizar, que se presenta un modelo que permite abordar una amplia gama de problemas y además permite resolverlos de forma efectiva utilizando PLEM, mediante una evaluación multicriterio (criterios priorizados).

La estructura de este documento es la siguiente:

Capítulo 2. Se expone en términos básicos la problemática sobre la asignación de tareas. Están comprendidos también en este capítulo los conceptos básicos relativos a la flexibilidad laboral, a la polivalencia del personal, así como también una descripción de lo que es la organización del tiempo de trabajo y la ubicación del tema de asignación de tareas dentro de este marco general.

Capítulo 3. Se presentan los objetivos, alcance y justificación de esta tesis doctoral.

Capítulo 4. Expone los antecedentes sobre el tema de organización de tiempo del trabajo, centrándolo en su fase de asignación de tareas.

Capítulo 5. Una vez analizado el estado del arte presentado en el capítulo anterior, en este capítulo se presenta una descripción de los tipos de problemas de asignación de tareas, tomando de base la nueva clasificación que unifique una amplia gama de características y una variedad de criterios de evaluación.

Capítulo 6. Se presenta la definición del problema de asignación de tareas que se trata en esta tesis doctoral, acorde a la clasificación de características del problema de asignación presentada en el capítulo 5.

Capítulo 7. Presenta una descripción detallada del nuevo modelo propuesto para el problema de asignación, reasignación/concatenación. Refiriendo los parámetros utilizados, variables, restricciones y funciones que se involucran en el modelo de programación lineal entera que se ha desarrollado en esta tesis.

Capítulo 8. Exhibe lo que ha sido la experiencia computacional del modelo, aplicado en diferentes condiciones. Además se exponen las conclusiones obtenidas con el desarrollo de la experiencia.

Capítulo 9. Se presenta en este último capítulo, las conclusiones a las que se ha llegado con este trabajo, también se hacen públicas las posibles futuras extensiones en este ámbito de la investigación.

Finalmente se encuentran las referencias utilizadas en el desarrollo de esta tesis doctoral y los anexos.

CAPÍTULO 2.

CONCEPTOS BÁSICOS

Como se ha mencionado en la introducción, el estudio de la asignación multicriterio de tareas a personal polivalente resulta interesante por la creciente necesidad de las organizaciones de adaptarse a las demandas cambiantes del mercado.

Para que las organizaciones logren su permanencia en el mercado, no sólo basta con los modelos tradicionales de competencia en los que también sus competidores pueden basar sus estrategias, como son: la diversidad de productos a ofrecer, los precios, así como el uso de la tecnología. El lograr su ventaja competitiva y permanencia en el mercado las lleva a buscar nuevas soluciones basadas en la organización de sus recursos humanos y en las características de su colectivo (Johannessen, 1997).

En el presente capítulo, se introducen los principios claves de estudio de esta tesis doctoral, como son: la asignación de tareas, flexibilidad, polivalencia y multicriterio, para poder sentar las bases del estudio. También se expone la justificación de la realización de esta tesis doctoral.

2.1 Asignación de tareas como parte de la organización del tiempo de trabajo.

El problema de asignación de tareas definido de una manera general, consiste en la asignación de n tareas a m agentes, sujeto a restricciones aplicables, donde se busca la optimización de los recursos (Díaz y Fernández, 2001).

La asignación de tareas, se considera la tercera fase del problema que se denomina “organización de tiempo de trabajo” (OTT), según lo descrito por Corominas y Pastor (2000). Las referencias sobre la visión de la OTT se remontan a lo descrito por Abernathy (1972), que es quien para facilitar el trato de este problema, plantea las tres fases que se relacionan jerárquicamente.

La definición de OTT es “*un aspecto de las relaciones laborales que busca conciliar las exigencias técnico-organizativas de la producción y las características y las necesidades de los trabajadores que hacen una prestación de su tiempo a las empresas, teniendo en cuenta también los tiempos correspondientes a actividades subordinadas, pero obligadas, y las cadencias de dicha prestación*”, (Corominas y Crespán, 1993).

Según Corominas y Pastor (2000), las etapas en que se divide de la OTT, son:

Planificación: determinar cuántas horas ha de estar presente cada trabajador en cada una de las semanas del horizonte de planificación.

Programación: Determinar el horario de presencia de personal, dado como resultado de la primera fase el total de horas de cada trabajador en cada semana.

Asignación: Dada la previsión de la capacidad de trabajo necesaria, a lo largo del horizonte; determinar a qué tipo de tarea se dedicará en cada momento cada uno de los trabajadores.

Así pues la etapa de asignación parte de un resultado previo de dos fases realizadas a priori. Es decir, generalmente ya se tiene conocimiento del personal presente en cada período de tiempo, de sus características y de los pronósticos de demanda para cada una de las tareas en cada período.

La demanda de bienes y servicios se traduce en requerimientos de personal, que pueda determinar la capacidad necesaria para cada tarea. Este enfoque jerárquico puede generalizarse, hablando de períodos en lugar de semanas y de intervalos para los segmentos en que se divide el período.

Existen muchas formas de asignar a las personas y como cita Zülch et al., (2004) esta asignación tiene importantes efectos en los costes de personal y el logro de los objetivos de la organización.

Para llevar acabo la asignación se han de seguir ciertas pautas establecidas previamente, las cuáles han de ser basadas en el ambiente que los rodea, regido éste por diversos factores como son: la capacidad del personal, flexibilidad de la organización, los niveles de demanda, contratos colectivos, leyes laborales, naturaleza de las tareas, preferencias del personal, prioridades de la empresa, costes, etc.

El problema al que se enfrentan las organizaciones es el de decidir como distribuyen su fuerza laboral, cuando tienen personal con diferentes tipos de habilidades, lo que permite una utilización óptima del personal, respetando las pautas establecidas a priori (Lagodimos y Leopoulos , 2000).

El hecho de considerar la pluralidad de posibilidades de asignación, y de adquirir aquella que sea la más eficiente, permite obtener una explotación óptima de las capacidades de los recursos humanos, lo cual se logra mediante el uso de herramientas eficientes (Zülch et al., 2004).

En el capítulo 4 sobre el estado del arte, se presenta el detalle del problema de asignación de tareas y la organización del tiempo de trabajo, citando los antecedentes sobre el tema y las características relevantes, ya que es un aspecto muy importante para la base teórica de la presente tesis doctoral.

2.2 Flexibilidad laboral

Debido a la globalización y los cambios tecnológicos, las organizaciones tienen que ser flexibles en la estructuración de su fuerza de trabajo y debido a ello la transformación del trabajo es evidente (Canroy, 2001).

Cada día los mercados son más dinámicos, inciertos y competitivos (Johannessen et al., 1997, Llorente, 2003, Park, 1996, Zülch, et al., 2004), y para hacer frente a estos cambios tan frecuentes, la flexibilidad laboral en las organizaciones es necesaria y permitida por las leyes laborales. Además esto permite que las organizaciones puedan reducir sus costes de operación, conservando sus niveles de calidad que las mantengan en un nivel competitivo dentro del mercado.

Como han citado varios especialistas en la materia (Herbertson, 2005, Llorente, 2003) el manejo adecuado del recurso humano dentro de la organización

resulta un elemento muy valioso para la reducción de costes, y para la adaptabilidad y flexibilidad necesarias para lograr el éxito en el mercado.

Sobre la flexibilidad laboral existen muchas definiciones, y cada una de ellas refleja de diferente manera el concepto. Lusa (2003) después de hacer un análisis sobre las definiciones, exhibe dos características del concepto de flexibilidad que lo soportan en términos generales, las cuales son: habilidad para responder a los cambios, hacer frente a la incertidumbre y/o variabilidad.

Una definición del termino flexibilidad laboral es la dada por Albizu (1997) como *“el modo de adecuar eficientemente los recursos humanos disponibles, y la organización del trabajo, a las variaciones de la demanda de productos y servicios”*.

La definición expuesta sobre flexibilidad laboral indica que es una forma de adecuar los recursos humanos, no con esto se pretende que el trabajador renuncie a sus derechos y mucho menos dejar de lado la ergonomía, sino es una simple adaptación a las necesidades de la organización, esto como se ha dicho, regido por los principios de la legislación laboral, que es la responsable de hacer respetar los derechos del personal.

Caille (2003) indica que la flexibilidad es sinónimo de más empleo y de más libertad para la fuerza laboral, ya que cada individuo puede tener la libertad de exponer sus preferencias de cuándo y cuánto trabajar acorde a su vida personal.

Una razón por la cual las organizaciones no incorporan la flexibilidad laboral, es principalmente por el temor que tienen a que sea demasiado complejo administrar el sistema de personal, además de que no puedan ser satisfechas las demandas del personal.

Las organizaciones necesitan herramientas eficientes para llevar a cabo la administración de su personal, ya que existe una amplia cantidad de posibilidades para asignar la fuerza laboral y explotar la flexibilidad (Zülch, et al., 2004) y además es necesario cumplir con los requisitos legales, personales y por supuesto de satisfacción de la carga de trabajo necesaria en cada tarea.

En muchas organizaciones el recurso humano es el recurso más caro, pero es también el más flexible, por lo que un adecuada utilización de este recurso puede contribuir significativamente a la competitividad de la organización (Zülch, et al., 2004).

2.2.1 El uso de la flexibilidad laboral

Los aspectos técnicos, sociales y directivos son los tres factores que influyen en el desarrollo y uso de la flexibilidad laboral (Cesan y Steudel, 2005).

Según Herbertson (2005), director general de una empresa dedicada a la contratación de personal en el Reino Unido, las últimas tres décadas han sido marcadas por un aumento de los contratos de trabajo flexible. Caille (2003) consejero de Adecco (organización líder en el mundo de los recursos humanos y trabajo temporal), señala que Holanda y Reino Unido son los países que van por delante en el uso de este tipo de personal en su mercado laboral.

Las organizaciones del Reino Unido, desde abril de 2003, tienen la obligación legal de considerar la aplicación de jornadas de trabajo flexible para padres de menores de 6 años y de menores de 18 años con capacidades diferentes (discapacidad). Por lo que compete a España, en el Libro de Economía laboral y política laboral de Ruesga et al. (2002), se menciona que desde 1994 en este país se pueden pactar en los convenios colectivos otros aspectos relacionados con el tiempo de trabajo, como son la distribución irregular de la jornada a lo largo del año, respetando los tiempos de descanso entre jornadas de trabajo y el período de vacaciones retribuidas (respetando el mínimo de treinta días naturales).

Hottenstein y Browman (1998) sostienen que la industria americana ha mostrado interés para hacer uso de la flexibilidad laboral como herramienta para que las organizaciones sean más competitivas y puedan hacer frente a la situación actual, marcada por productos con ciclos de vida corto y por supuesto la necesidad de producir una amplia gama de productos en pequeña escala. Muestra de ello es que la industria del trabajo temporal en Estados Unidos, creció entre los 1990 y 2000 del 17,0 al 63,0 billones de dólares según datos de la asociación americana de personal (*American Staffing Association, 2001*) que presentan Pinker y Larson (2003).

2.2.2 Tipos de flexibilidad Laboral

Existen diferentes formas en que las organizaciones pueden conseguir la flexibilidad laboral que las lleven a satisfacer la necesidad latente de adaptación de su fuerza laboral (Cesan y Steudel, 2005, Llorente, 2003, Ruesga 2002, Yañes, 1999, Aitken). Aunque la clasificación que presentan los diferentes investigadores sobre la flexibilidad no son exactamente iguales,

todos coinciden en la existencia de dos tipos generales: La flexibilidad externa (es la que se ayuda de agentes externos para la satisfacción de sus demandas de fuerza laboral) y la flexibilidad Interna (comprende manejo interno de su fuerza laboral, que mejor lo convenga para satisfacer sus necesidades).

A continuación se presenta la clasificación que muestra Ruesga et al., 2002, en base a la clasificación hecha por Brunhes (1989), la cual se basa en los movimientos que realiza de la fuerza laboral para el logro de la flexibilidad.

Externas:

Flexibilidad cuantitativa externa: fluctúa el número de empleados según las necesidades de la empresa, recurriendo a contratos por tiempo fijo, contratos eventuales, despidos, etc. (modelo británico).

Externalización: recurre al uso de subcontratación de actividades y del prestamismo laboral (modelo italiano y español, con recurso a la economía informal).

Internas:

Flexibilidad cuantitativa interna: modifica la cantidad total de trabajo utilizado con variaciones en el tiempo efectivo de trabajo realizado.

Flexibilidad funcional: utiliza a las personas en funciones variables según las necesidades de la empresa (modelo sueco).

Flexibilidad salarial: vincula los niveles retributivos del personal a la evolución de los resultados empresariales (modelo japonés).

La flexibilidad externa lleva a generar costos adicionales además de que puede verse afectada la calidad de los productos, por lo tanto el uso de la flexibilidad interna (específicamente la cuantitativa interna y flexibilidad funcional) es la que genera beneficios más significativos para las organizaciones y para el personal (Aitken, 2005).

2.2.3 Ventajas e inconvenientes de la flexibilidad laboral interna.

El uso de la flexibilidad laboral interna, permite a las organizaciones el acomodo de la fuerza de trabajo de que dispone, en función de la demanda requerida en cada tarea y para cada instante.

En la literatura existente sobre la flexibilidad interna, existe una gran diversidad de ventajas que supone su uso para las organizaciones, así como para las personas, las cuales se resumen en la tabla 2.1.

Organización	Personal
Permite retener al personal capacitado ⁴	Elevar la moral de la persona ⁴
Reducción de los costos de reclutamiento y despido de personal. ¹	Seguridad de permanencia en la organización. ¹
Reducir el pago de horas extras y absentismo del personal ¹	Equilibrio entre su vida personal y laboral. ^{5,1}
Contar con gente más productiva ⁵	Reducir el estrés ¹
Tener personal capacitado y disponible donde se necesite ³	Polivalencia que le evite la monotonía de trabajo ⁴
Reaccionar a las condiciones de mercado cambiantes de modo más efectivo ^{4,2,3}	Sentirse reconocida como persona en lugar de ser simplemente otros recursos para la organización. ¹
Aumentar el nivel de cooperación del personal. ¹	Aumentar el nivel de cooperación de la organización con el personal. ¹

Tabla 2.1. Ventajas del uso de la flexibilidad laboral interna. (Basado en revisión bibliográfica : Aitken, (2005)¹; Cesan y Steudel, (2005)²; Slomp, et al. (2005)³; Llorente, (2003)⁴; Yáñez (1999)⁵, entre otros.)

Diversos estudios exponen las ventajas que tiene el uso de la flexibilidad laboral en distintos ámbitos, sin embargo se reconoce que su puesta en práctica puede ser compleja (Cesan y Steudel, 2005).

En el sector manufacturero, Cesan y Steudel (2005) establecen que la flexibilidad laboral ayuda a reducir el tiempo de manufactura, el inventario de material en proceso, mejorar el servicio al cliente y mejor utilización del equipo.

En cuanto a los inconvenientes, cabe destacar que aunque en una menor cantidad, también han sido detectados, en la literatura revisada, algunos puntos negativos del uso de la flexibilidad laboral. El movimiento constante de la fuerza laboral conlleva a respetar una serie de condicionantes basadas en las leyes laborales, preferencias, etc., lo que implica una preocupación, por parte de las organizaciones, de perder el control de manejo de su personal. Además se necesita contar con herramientas basadas en métodos más complejos para la administración de la fuerza laboral y por lo tanto un incremento en el coste administrativo y gestión de personal.

2.2.4 Marco de flexibilidad laboral para asignación de tareas.

El marco de estudio donde se centra esta tesis doctoral, es específicamente la flexibilidad funcional (interna), que es aquella que comprende la movilidad de la fuerza de trabajo, asignándola a las diferentes tareas según la necesidad de la organización (Llorente, 2003).

Se define esta flexibilidad, como las tareas diferentes que puede realizar cada trabajador y personas que están calificadas para realizar una tarea específica y por supuesto considera la eficiencia de cada trabajador para cada tarea (Molleman y Slomp, 1999).

Cesani y Steudel, (2005) establece que este tipo de flexibilidad funcional tiene tres características a considerar, las cuales son definidas por Molleman y Slomp, (1999) de la siguiente manera:

Multifuncionalidad: El número de diferentes tareas que puede realizar cada trabajador.

Redundancia: Se refiere a características de la propia tarea, como es el número de personas que pueden realizar una tarea específica.

Flexibilidad: El número de habilidades de un equipo de trabajo, relacionado con el número de tareas que han de realizar.

Si todas las personas pueden realizar todas las tareas, la organización será más flexible, ya que son más las personas que pueden ser asignadas a una determinada tarea, cuando esto sea requerido (Hottenstein y Browman, 1998).

2.3 Personal polivalente

Para lograr una organización flexible, Hottenstein y Bowman (1998) establecen que es importante contar con personal polivalente que les brinde la capacidad de organizar y trabajar en función de las demandas del mercado. Además se ha demostrado que impulsar este tipo de personal resulta ser una estrategia laboral que reduce los costos de trabajo indirectos, ayuda a mejorar la productividad y reduce el re-trabajo (Gomar et al., 2002).

La polivalencia del personal, no está dirigida a cada una de las tareas de manera independiente, sino a las tareas que se tienen que realizar para conseguir un fin deseado (Albizu, 1997). En el documento presentado por Gomar et al., (2002), definen el término polivalencia del trabajador,

refiriéndose a la amplia gama de capacidades que tiene dicha persona que le permite trabajar en diferentes procesos de trabajo (tareas).

2.3.1 Formación de personal polivalente

Históricamente según Aquilano (1977), los primeros estudios sobre el personal en la organizaciones surgen con la especialización, introducida como una ventaja económica de la división del trabajo, lo cual funcionó y satisfizo con éxito a las organizaciones en el transcurso de la revolución industrial; pero el énfasis ha ido cambiando. Con los años se va a la búsqueda de formas para motivar y satisfacer al personal, que permitan aumentar la complacencia de los mercados, lo que da lugar al nacimiento del personal polivalente.

La inversión en el entrenamiento para poder conseguir personal polivalente y una buena administración de este personal puede generar ganancias, no sólo en el aspecto de una mayor eficiencia productiva, una mayor satisfacción del personal, más alta calidad, sino también incrementan la flexibilidad de las organizaciones (Sennott et al., 2006).

El desarrollo de estas características del personal, se logra con un entrenamiento en las diferentes tareas, ya que si consiguen desarrollar las diferentes habilidades pueden ser asignados a una gran variedad de tareas dependiendo de su necesidad (Hottenstein y Bowman 1998). El personal está dispuesto a aprender otras habilidades, si puede obtener beneficios económicos, asignaciones desafiantes de trabajo y más responsabilidad (Gomar et al., 2002).

Al crear el perfil de polivalencia del personal, se involucran algunas decisiones como son el establecer el número de habilidades que debe desarrollar cada persona, el recomendar que se vaya rotando por las diferentes tareas, el determinar los tiempos de entrenamiento y la proximidad entre tareas, etc. (Cesan y Steudel, 2005). Considerando además las habilidades específicas que son requeridas para cada tarea y cómo el personal puede adquirirlas (Maw y Sleezer, 1995).

Cada una de las tareas debe ser dominada al menos por dos personas para reducir el impacto que puede tener el absentismo de alguna persona y claro debe ser relativo el número de personas que pueden realizar cada una de las tareas, dependiendo de su demanda. (Molleman y Slomp, 2005).

Campbell (2002) menciona que las organizaciones pueden presentar personal con polivalencia parcial, esto quiere decir que dependiente de la tarea a la que

sea asignado tendrá una eficiencia diferente, lo que puede tener efectos en los resultados generados.

El nivel de eficiencia de una persona para una tarea puede ser medido por la velocidad para realizar un trabajo manual, verificando que sea un trabajo hecho con calidad (Slomp et al. 2005).

Menciona Maw y Sleezer, (1995), que el crear personal polivalente no significa que se conviertan en personas expertas en todas las tareas y que ninguna sea el dirigente, lo que se busca es que adquieran más habilidades para un uso completo de su capacidad y el facilitar el logro de los objetivos.

2.3.2 Tipos de polivalencia del personal

Existen diferentes tipos de polivalencia que pueden ser adquiridas por las personas y para su estudio se pueden clasificar en diferentes categorías dependiendo de la característica evaluadora. Boterf define cuatro categorías de polivalencia, basadas en la implicación de la persona en el proceso productivo, las cuales se presentan en el libro de Albizu, (1997) identificadas de la siguiente manera:

- **Polivalencia elemental:** consiste en una rotación en la cadena de producción, donde las tareas se fragmentan de tal manera que el operador no logra dominar el proceso de producción completo.
- **Polivalencia por ampliación de tareas:** Requiere de la puesta en práctica de técnicas de trabajo diferentes, o de las mismas técnicas básicas pero bajo condiciones diferentes, y que aúna tareas encomendadas anteriormente a diferentes oficios.
- **Polivalencia por enriquecimiento de tareas:** Esta se caracteriza por la necesidad de cambiar cualitativamente los conocimientos y las competencias del trabajador para alcanzar dominios de nuevas capacidades.
- **Polivalencia de grupo:** Esta permite el desarrollo colectivo de las funciones anteriormente confiadas al grupo.

Otra clasificación de la polivalencia es la presentada por Lusa (2003), donde la categorización se basa en los niveles de capacidad del personal, las cuales son:

- **Correspondencia biunívoca entre categorías o tipos de tareas:** Esta hace referencia al personal que, únicamente puede realizar aquellas tareas asociadas a su categoría.
- **Categorías jerarquizadas:** esta corresponde, al caso en que los tipos de tareas y las categorías están jerarquizados, y el trabajador puede realizar las tareas propias de su categoría y también las correspondientes a las categorías inferiores o algunas de ellas.
- **Personal Polivalente:** Se puede definir una matriz categoría/tipos de tarea que indica los tipos de tareas que puede realizar el personal de una categoría dada.

2.3.3 Utilización de personal polivalente

Si todo el personal está capacitado para realizar todas las tareas, más flexible es la organización, ya que se incrementan las posibilidades para asignar al personal (Hottenstein y Bowman, 1998; Rodríguez y Coves, 2003). Considerando que la asignación elegida tendrá un efecto en los costes laborales y en el logro de las metas (Zülch et al., 2004).

Sennott et al., (2006) presentan un modelo para hacer un uso óptimo del personal polivalente que permita lograr una producción eficiente, para lo cual se basa en dos principios: hacer la asignación de tareas aprovechando sus habilidades y una política para la coordinación de su fuerza laboral.

La utilización de personal polivalente es muy importante en diferentes sectores industriales, algunos ejemplos de ello son:

- **Los sistema de manufactura celular:** Donde el número de personas es menor a la cantidad total de máquinas en la célula. El objetivo es el balanceo de la carga de trabajo, compartir las tareas y evitar los embotellamientos (Cesan y Steudel, 2005; Slomp et al., 2005).
- **Sector de la construcción:** el trabajar prácticamente por proyectos y al tener una imagen pobre de la industria, hace difícil el atraer a nuevo personal, por lo que una estrategia potencial es la utilización de la mano de obra polivalente, para aumentar la productividad, la calidad y continuidad del trabajo (Gomar et al., 2002).

- **Sector hospitalario:** permite la reducción de costes, da un mejor cuidado y mayor satisfacción de los pacientes. En el sector son necesarios menos especialistas y más personal con conocimientos generales, donde los roles se centren en los pacientes (Thomson, 1996; Maw y Sleezer, 1995).
- **Taller mecánico:** Además de otros beneficios se obtiene una disminución del equipo necesario, el espacio requerido, personal que coopera y realiza el trabajo para un fin común. (Aquilano, 1977).
- **Tienda de autoservicio:** se requiere la utilización de personal polivalente, ya que la necesidad de cobertura de fuerza laboral para las diferentes tareas varían en función de la hora y día de manera frecuente. (Corominas et al., 2005)

Otra característica para su utilización es la distribución que se hace de su personal, ya que el nivel de polivalencia puede ser igual para todos, o bien que unos puedan tener más habilidades que otros o bien el nivel de eficiencia es igual o distinto dependiendo de la tarea. Considerando además que el éxito del uso de la polivalencia depende de la capacidad de obtener la asignación apropiada del personal en las tareas para el logro de los objetivos de la organización (Gomar, et al., 2002).

En los estudios realizados por Thomson, (1996), se cita que el 80% de las instituciones médicas desean contar con personal polivalente en su plantilla y el 75% de las personas que se emplean en esta industria se muestra positiva con la idea de una preparación polivalente.

Una muestra del uso de la polivalencia, la da Johannesse et al., (1997) que indica que Toyota en 1962 ya hace uso de los equipos de trabajo polivalentes, lo que les han dado beneficios muy significativos, prueba de ello es la obtención del premio Deming¹ en 1965 y es nombrada como la mejor compañía de coches en el mundo por la revista *Fortune* en 1991.

Park (1996) presenta el estudio realizado por Koike, (1988), que en base a un análisis sobre la situación industrial, llega a la conclusión que el personal japonés resulta más polivalente que el personal en E.E.U.U., por lo que tienen

¹ Es el premio de más prestigio que una empresa japonesa puede obtener. Se entrega una vez al año, a la empresa que haya realizado el mayor avance en calidad, basándose en los estándares de calidad.

habilidades para dar soporte a los sistemas de producción más flexibles. Además que el personal japonés es capaz no sólo del desarrollo de las tareas asignadas, sino también de poder ocuparse de los problemas asociados a las mismas, por un amplio conocimiento del proceso.

2.3.4 Beneficios de la polivalencia

El lograr un equilibrio del personal en una organización, es importante desde un punto de vista social y económico. Estos beneficios se pueden ver reflejados en una reducción de costes, mejora de la calidad, mejor uso de los recursos, mejora del servicio al cliente, una alta satisfacción de las personas (Mc Cune, 1994; Maw y Sleezer, 1995). Bergman (1994) destaca las ventajas del uso de la polivalencia en base a su experiencia en los hospitales.

Park (1996) expone que las organizaciones con personal polivalente, pueden resolver los cambios rápidos que se dan de la demanda de productos en forma eficaz, esto regido por el principio de que el personal presente unos mayores niveles de polivalencia, y que el conocimiento del proceso vaya en aumento, hace que pueda reaccionar, de manera efectiva, a cambios extraordinarios.

Según el estudio realizado por Gomar, et al., (2002), el personal cree que la polivalencia les permitirá gozar más de su trabajo, permanecer un tiempo más largo en la organización, tener un trabajo mentalmente más desafiador, un mayor sentido de responsabilidad, y una mejor remuneración de su trabajo. Además una disminución de la monotonía para el personal (Aquilano, 1977).

2.4 Decisión multicriterio en la asignación de tareas a personal polivalente

Como se ha dicho en la introducción de esta tesis doctoral, en los últimos años se ha dado un avance muy significativo en el estudio de la organización de tiempo de trabajo. Los criterios de que se valen las organizaciones para evaluar la óptima utilización de sus recursos cada día va en aumento, lo que da lugar a la existencia de situaciones de decisión multicriterio.

La creciente intervención de criterios a considerar por las organizaciones se da porque, como lo establece Corominas y Crespán (1993) hay exigencias técnico-organizativas de la producción y también necesidades del personal, considerando importante el hecho de que sean medibles.

Estas exigencias nacen de la necesidad de satisfacción de diferentes aspectos, tanto para la organización como para los individuos que la conforman, ya sea por aspectos técnicos, personales, legales, ergonómicos, de habilidades, etc. La necesidad de las organizaciones de ser eficientes, y todos los factores que se ven involucrados para lograrlo, han hecho que la tendencia en su toma de decisiones sea con un enfoque multicriterio y por lo tanto es importante contar con las herramientas precisas para conseguirlo.

Romero y Pomerol, (1997) sostienen que el análisis multicriterio en las organizaciones tiene a su favor el realismo, ya que diversos criterios deben considerarse en su toma de decisiones.

El término multicriterio se refiere a la presencia de más de un criterio, con la condición de que al menos uno de ellos esté en conflicto con otro criterio. Dichos criterios están constituidos por los atributos y objetivos que se consideran relevantes en las decisiones de la organización.

El problema de decisión multicriterio en la actualidad es una de las áreas de más actividad en la investigación operativa. En 1972 se celebró el primer congreso mundial sobre el tema de decisión multicriterio (Multiple Criteria Decision Making), que es considerado el nacimiento de la decisión multicriterio. (Romero y Pomerol, 1997, Romero, 1993)

Según Romero (1993), los primeros trabajos científicos sobre multicriterio fueron los de Koopmans (1951) y Kuhn y Tucker (1951), pero uno de los trabajos que marcaron el impulso para el desarrollo del multicriterio fue el de Charnes y Cooper en (1961).

Para la satisfacción de las decisiones multicriterio, existen métodos de optimización multicriterio que permiten abordarlos, los cuales se definen por una serie de objetivos a optimizar que deben satisfacer un determinado conjunto de restricciones (Romero, 1996). La optimización multicriterio, también es conocida como optimización Pareto, optimización vectorial, optimización eficiente (Loyo, 2004).

Romero (1996) establece que el lograr una optimización de todos los criterios (objetivos) de manera simultánea es con frecuencia imposible, ya que entre los objetivos que se busca optimizar, usualmente existe cierto nivel de conflicto, por lo que un enfoque multicriterio pretende encontrar el conjunto de soluciones eficientes, las cuales pueden estar en sentido maximizador o bien minimizador. El autor presenta el siguiente modelo matemático:

$$Eff\ f(x) = [f_1(x), \dots, f_i(x), \dots, f_n(x)]$$

Sujeto a

$$x \in F$$

Donde:

Eff Significa la búsqueda de soluciones eficientes.

$f_i(x)$ Expresión matemática del atributo *i*-ésimo

x Vector de variables de decisión.

F Conjunto de restricciones.

Una solución eficiente se refiere a que no existe otra solución alternativa que mejore en uno de los criterios sin que empeore al menos a otro del resto de criterios (Romero y Pomerol, 1997). Para llegar a establecer la decisión eficiente es necesario en muchas de las ocasiones integrar todos los aspectos a través de una preferencia, considerando que puede resultar complejo por los términos en que se encuentran expresados cada uno de los criterios (Company, 2004). En el caso de que la existencia de criterio sea bajo diferentes términos, se debe acudir a la normalización, para que permita la homogeneidad entre los criterios.

Los resultados de la decisión se pueden ver reflejados en diferentes aspectos, de los cuales en Company, (2004) describe los siguientes:

- Valores monetarios (costes, ingresos, rentabilidad, etc.)
- Aspectos de tiempo (plazo de entrega, duración, tiempo de producción, etc.).
- Otros aspectos cuantitativos medidos en diversas unidades (producción potencial, tráfico nominal, capacidades, etc.).
- Otros medidos a través de una ley de probabilidad o de sus características (fiabilidad, riesgo, etc.)
- Otros de tipo cualitativo.

En la clasificación de las características del problema que se presentará en el capítulo 5, se hablará a fondo de los criterios que se han visto involucrados en la literatura revisada. Los criterios considerados han sido muy diversos, dependiendo del enfoque que se le pretende dar a la evaluación de una óptima asignación. Estos enfoques dependen de la situación de preferencia de las organizaciones, ya que van desde el mantener un nivel de entrenamiento adecuado del personal, el buscar la reducción de costes, el aprovechar las capacidades de su personal, el satisfacer sus demandas, el contemplar las preferencias del personal, etc.

CAPÍTULO 3. OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN

3.1 Objetivos

La legislación laboral actual permite el uso flexible del personal y la situación del mercado cada día se enfrenta a una necesidad creciente del uso de dicha flexibilidad, como consecuencia de las exigencias por parte de las organizaciones, así como del personal; lo que conduce a una búsqueda de metodologías que ayuden en la organización del tiempo de trabajo (OTT) en sus diferentes ámbitos y los diferentes sectores en que éste se refleja.

Abernathy (1972) propone tratar el problema de OTT en tres fases relacionadas jerárquicamente. Esta metodología posteriormente es retomada en Corominas y Pastor (2000), Campbell y Diaby (2002), entre otros, para abordar la problemática de la OTT. Las fases para afrontar el problema, las definen Corominas y Pastor (2000) como: planificación, programación y asignación.

La directriz de esta tesis doctoral, está encaminada a la tercera fase de la OTT, la llamada asignación de tareas (AT). La AT se enmarca en el contexto de personal con polivalencia total o parcial, considerando múltiples criterios de optimización. Lo que se busca es satisfacer una amplia gama de la problemática correspondiente a la asignación de tareas.

Considerando la OTT con sus tres fases relacionadas jerárquicamente, el problema en específico que se aborda en esta tesis doctoral parte del hecho que ya se han realizado las dos fases previas. Es pues conocido con antelación, para cada uno de los intervalos que comprende el horizonte (período en el que se hace la OTT): el personal presente, los tipos de tareas a realizar, la demanda de cada una de ellas y las características propias del caso; considerando esto, se hace la asignación de tareas al personal, respetando condicionantes y haciendo una evaluación fundada en los criterios que están regidos por las preferencias de la organización.

Por tanto se establece como objetivo diseñar un modelo para los problemas de asignación de tareas, en un contexto de flexibilidad laboral y de polivalencia, proponiendo un método de resolución exacto.

Los objetivos específicos de la tesis doctoral son los siguientes:

- Definir los problemas de asignación de tareas en jornadas de trabajo con demanda variable.
- Hacer una clasificación del problema de asignación de tareas, en función de las características específicas de este problema.
- Definir los criterios de evaluación.
- Definir modelos y algoritmos adecuados para resolver el problema de asignación de tareas al personal en función de las características que se presentan, haciendo una evaluación que involucre más de un criterio.
- Validar mediante la experimentación, los objetivos anteriores.

Con el objetivo antes mencionado se busca obtener resultados motivadores para el uso de la llamada flexibilidad laboral, que tantos beneficios conlleva a las organizaciones. Además de despertar el interés e impulsar investigaciones en este campo, que permitan ampliar los estudios y conocimientos dentro de este ámbito de OTT, tan poco explorado hasta el momento.

3.2 Justificación

Como se ha comentado en el capítulo 2, existe una necesidad latente en las organizaciones del uso de la flexibilidad y para ello el disponer de personal polivalente es una necesidad. También se requiere directivos capaces de tomar decisiones eficientes para conseguir dicha flexibilidad, aprovechando las ventajas que da la existencia de posibilidad de asignación del personal. Por otro lado no se debe olvidar la inclusión de las mejoras que permite la nueva legislación laboral para que las organizaciones consigan el uso óptimo de los recursos humanos.

Para obtener una óptima asignación del personal, es preciso contar con las herramientas necesarias para su administración, es decir que la organización se pueda valer por sí misma para lograr una excelente planificación y control de su fuerza laboral. No basta con detectar la necesidad de una organización del tiempo de trabajo, sino que es necesario actuar sobre ella de manera eficiente.

Actualmente en muchas empresas se ha detectado la necesidad de realizar una asignación dinámica de su fuerza laboral y lo hacen de una manera manual, lo que no les garantiza que la asignación que están realizando sea óptima, ya que a los ojos del tomador de decisiones aparentemente lo es, pero no puede estar seguro de que el resultado sea realmente un solución eficiente. Además su tarea cada día se complica más, porque como se ha dicho en el apartado anterior, hay un incremento en los criterios que se involucran en la asignación, y por otro lado el tiempo que requiere invertir en su planificación es demasiado, así como la pérdida de control que puede resultar.

El tener un personal especializado (no polivalentes) es muy bueno para las organizaciones si los mercados son fijos, pero como se ha dicho en reiteradas ocasiones, hoy en día los mercados son muy cambiantes. Además los estudios han demostrado que las personas son más proactivas a adquirir nuevas habilidades, ya que les resulta más interesante, motivador y beneficioso tanto para su vida laboral como personal. De aquí el enfoque de esta tesis doctoral a una fuerza de trabajo de tipo polivalente, pero no con ello se descarta que nuestra propuesta sea también compatible para aplicar aquellas situaciones en que se cuente con personal con polivalencia parcial.

Si la organización tuviese una fuerza laboral conformada sólo por personal no polivalente, nuestra propuesta perdería parte de su interés, ya que se reduce el espacio de solución, que pretende solventar con esta tesis doctoral.

Como se ha dicho, dependiendo del ambiente en que se ha desarrollado la OTT, las características son muy específicas de cada caso particular, por lo que aunque el modelo no las pretenda abordar todas, lo cual resultaría muy complejo, si que pretende la consideración de una amplia gama de ellas. Así como también el hacer una clasificación de los problemas que pueden manifestarse, dependiendo de las características propias y de los criterios que han de ser considerados.

Es importante disponer de procedimientos eficientes, que sirvan de herramientas efectivas para lograr la asignación de tareas, dependiendo de las necesidades de la organización, que en muchos casos suele ser impredecible.

Aunque existe un auge sobre el tema de la organización del tiempo de trabajo, y un interés por parte de las organizaciones de hacer algo al respecto para conseguir ventaja de ello, el tema de la asignación hasta el momento ha sido poco explorado, como se podrá ver reflejado en el capítulo 4 que habla a fondo sobre el tema. Por ello vemos que una aportación en esta dirección resultará importante, ya que no sólo basta con establecer la cantidad de personal necesario en cada momento, sino que ejerce también un impacto importante el cómo sea distribuido el personal en la diferentes tareas.

El desarrollo de un modelo que contemple las características del problema que se ha presentado y la validación de un mecanismo de solución, resultará una herramienta de gran ayuda para este campo de la organización del tiempo de trabajo. Considerando que el modelo tome ventajas de la concentración de una mano de obra polivalente y que pueda encontrar una solución eficiente considerando los diferentes criterios que podemos ver reflejados en los problema de organización del tiempo de trabajo y que respete los condicionantes de cada caso. Y por supuesto llegar al resultado óptimo en un tiempo reducido, haciendo uso de las herramientas de software existentes.

CAPÍTULO 4.

ESTADO DEL ARTE

La literatura existente sobre el tema de organización del tiempo de trabajo (*OTT*) es muy diversa. Por tanto los enfoques y alcances de las investigaciones realizadas en el tema son muy heterogéneos. Partiendo de la base de que el tema de esta tesis se sitúa en una parte muy específica de este ámbito de las relaciones laborales y en específico de la *OTT*, la búsqueda bibliográfica se ha concentrado en el análisis de aquellos documentos científicos que consideren la asignación de tareas como parte de estudios de la *OTT*, y por supuesto los que tratan de forma directa la problemática de asignación del personal a las tareas.

El capítulo presenta primera una panorámica de lo que es la *OTT* y su relación con el método jerárquico descrito en el capítulo de conceptos básicos y que se utiliza como referencia para esta tesis. Se continúa con la exposición bibliográfica específica del problema de asignación y se finaliza con un resumen del estado del arte.

4.1. Organización del tiempo de trabajo (*OTT*)

4.1.1 Introducción

En los trabajos de Ernst et al., (2004), Grunow et al., (2004) entre otros, se menciona que los orígenes del estudio sobre la *OTT* se remontan a Dantzig

(1954), quien hace un análisis del trabajo realizado por Edie para determinar el número de casetas de peaje necesarias a lo largo del día para prevenir los retrasos por tráfico. El mundo laboral hoy en día está en evolución constante, Azmat et al., (2004) establecen que las compañías en el pasado han hecho frente de la mejor forma posible a los problemas de fluctuación de la demanda y mutación de los mercados con su fuerza laboral. Debido a ello, se produjo una gran cantidad de nuevas formas de OTT como son la anualización del trabajo, reparto del trabajo, rotación de tareas, así como de las ya existentes como son el trabajo parcial, trabajo temporal, etc.

Basado en la definición de Corominas y Crespán, (1993) presentada en el capítulo 2, se concibe la OTT como un aspecto del ámbito laboral, que busca acoplar las necesidades de la organización y del personal que prestan sus servicios, de tal forma que la vinculación conlleve a una satisfacción de las exigencias de ambas partes. Ernst et al. (2004) indican que lograr una OTT óptima genera importantes beneficios para la organización, pero requiere ser implementada con mucho cuidado.

Cuando se habla de la OTT hay que tener en cuenta los elementos que influyen en las decisiones que se han de tomar durante el proceso, como son aquéllos derivados del tipo de servicio o producto que ofrece la organización, los tipos de jornadas de trabajo considerados, los horarios comerciales (para empresas de servicio), la fluctuación de la demanda (por día y época), los efectos del tipo de trabajo en la salud del personal, así como también la consideración de la vida familiar y social del personal. Además como señalan Azmat y Widmer, (2004) las organizaciones hacen frente a problemas de OTT haciendo uso de horas extras, tiempo parcial, tiempo flexible, etc.

Siguiendo en la línea del estudio presentando por Corominas y Crespán, (1993) sobre la OTT, los autores consideran que la importancia de la OTT en las relaciones laborales, puede ser visualizada desde tres aspectos generales:

- La vida social: interferencia cada vez mayor que tiene la OTT sobre la vida social, la vida familiar y la vida ciudadana.
- Empresarial: La importancia que cada día más directivos dan a la necesidad de gestionar mejor los recursos humanos considerando la OTT como una buena arma para ello.
- Del personal: Se presenta resistencia por el miedo a que el llevar a cabo una OTT se empeoren las condiciones laborales y su calidad de vida.

Según Litchfield et al. (2003), la OTT involucra una gran variedad de decisiones, incluyendo el pronóstico de la demanda, generación de

requerimientos de personal, programación de horarios, asignación de personal, rotación, etc. Además como se indica en el trabajo de Topaloglu y Ozkarahan, (2004), las organizaciones buscan dar mayor flexibilidad usando diferentes tiempos de inicio de turnos, duración de la jornada, tiempos de descanso, días de descanso, etc., lo que se refleja en un aumento de la complejidad del problema.

Establecen Millar y Kiragu, (1998) que existen dos formas generales en que puede ser planteada la OTT: forma cíclica, que es donde el patrón de trabajo del personal se repite en un ciclo de n períodos, y la no cíclica que es aquella que se genera un nuevo período de OTT con los recursos disponibles y las restricciones que se procuran satisfacer.

Los modelos desarrollados de forma cíclica según Grunow, et al. (2004) son considerados como el planteamiento tradicional de la OTT, que es todavía utilizado en muchas aplicaciones, donde no permiten un uso eficiente de la capacidad del personal disponible, especialmente cuando la demanda de trabajo es no cíclica.

Diferentes metodologías han sido desarrolladas a lo largo de los años para resolver los problemas surgidos dentro de la OTT, una mayoría de ellos son considerados como problemas de optimización combinatoria, y para abordarlo, muchas de las propuestas sugieren algoritmos heurísticos que permitan encontrar una solución factible, sin garantizar que sea la mejor (Sitompul y Randhawa, 1990), pero así se evita un tiempo de cálculo excesivo que se llevaría por otros métodos de optimización.

Como ha sido detallado en el capítulo de conceptos básicos, la OTT no es una decisión sencilla, ya que por un lado están los aspectos legales, las restricciones de coste por despedir y contratar personal, las fluctuaciones de la demanda, las condiciones económicas e industriales, etc. (Azmat y Widmer, 2004). Para afrontar la complejidad de la OTT Abernathy (1972), propuso dividirlo en tres fases relacionadas jerárquicamente y dicho planteamiento ha sido utilizado por diferentes investigadores de la materia. Aunque no todos siguen el mismo principio de división y alcance de la OTT, sí se basan en la idea principal de su propuesta, la cual consiste en la división del problema en fases y relacionarlas jerárquicamente.

Esta estructura jerárquica significa que las decisiones tomadas en los niveles superiores influyen en las decisiones que se tomen en los niveles más bajos. Algunas de las propuestas que consideran este planteamiento jerárquico son:

- Corominas et al. (2005), Corominas y Pastor (2000): Su propuesta consiste en una primera fase hacer la planificación de horas de trabajo, después programar esas horas de trabajo y por último en la tercera se lleva a cabo la asignación del trabajo. Esta estructura jerárquica es la utilizada como referencia para esta tesis doctoral
- Azmat y Widmer, (2004): Presentan un método de tres fases para asignar el trabajo diario para el personal de tiempo completo bajo jornada anualizada. En la primera fase se determina el personal necesario para satisfacer la demanda semanal, en la segunda etapa se garantiza la asignación de los días de descanso obligatorio por año y semana para cada persona, para ello también se calcula las horas extras requeridas. Por último una tercera fase asigna los días de trabajo por semana para cada persona.
- Ernst et al. (2004). Proponen un metodología dividida en seis módulos para la OTT, considerando la rotación del personal en las diferentes tareas. En el primer módulo (modelo de demanda) determinan el personal necesario a lo largo del horizonte para satisfacer la demanda, el segundo módulo hace la programación de los días de descanso, en un tercero se programa los turnos de trabajo. El cuarto módulo (construcción de líneas de trabajo) limita los días continuos de trabajo, los diferentes turnos que ha de pasar el personal, así como la manera en que ha de irse moviendo por las diferentes tareas, en el quinto módulo (asignación de tareas) asigna las tareas que se han de realizar en cada turno y por último en el sexto módulo se asigna al personal a las tareas de forma individual. En su propuesta también consideran realizar el módulo quinto y sexto dentro del módulo de construcción de líneas de trabajo.
- Grunow et al. (2004): Proponen un método de dos fases aplicado a la OTT para coordinar las tareas requeridas para llevar a cabo estudios de nuevos medicamentos. En la primera etapa, determina el personal de cada categoría necesario en las diferentes jornadas de trabajo, y el tiempo de inicio y final de los diferentes estudios. La segunda fase se encarga de asignar de forma individual al personal a las tareas.
- Siferd y Benton (1992): Proponen una metodología que consiste en determinar la cantidad de personal de enfermería necesario

de cada categoría, para una determinada cantidad de unidades médicas en las diferentes jornadas de trabajo. Se consideran tres fases, en la primera se determina la cantidad de personal necesario, en la segunda fase se hace la programación y en la tercera se asigna el personal a las diferentes áreas médicas.

- Arthur y Ravindran (1981): proponen el método en dos fases, en la primera asignan los días del trabajo al personal (utilizando programación binaria por objetivos), y en una segunda fase asignan la jornada de trabajo en los días de trabajo asignados (por medio de una heurística secuencial).

La OTT tiene importancia en diferentes ámbitos, como ya ha sido expuesto en capítulos anteriores, el coste de personal es uno de los principales en muchos ámbitos y además corresponde al recurso que puede ser más fácilmente ajustado sin generar cargos de costes adicionales para la organización. Darmoni et al. (1995) hacen referencia al trabajo realizado en el sector hospitalario por Sitompul y Randhawa (1990), en los que se pone de manifiesto que el coste del personal de enfermería es el más importante para este sector.

Según lo expuesto en el párrafo anterior, Litchfield et al. (2003) establecen que los modelos típicamente buscan minimizar los costes de personal o bien maximizar el nivel de servicio al cliente, pero señalan que no sólo esos son los resultados que pueden lograrse con la OTT sino que además se tienen otros beneficios directos que son: reducir el tiempo que lleva a los directivos planificar el personal, menos necesidad del personal responsable de estar cubriendo las ausencias para poder hacer frente a las demandas, garantizar el tiempo libre del personal y mayor satisfacción.

Ernts et al. (2004), establecen que es difícil encontrar una solución óptima para los problemas de OTT que están altamente restringidos y complejos, donde se busca una solución que minimice costes, que considere las preferencias del personal, que lo distribuya equitativamente y que a la vez satisfaga todas las restricciones del centro de trabajo; para ello utilizan herramientas de apoyo que les ayude a proporcionar el personal adecuado, en el tiempo adecuado y con un coste adecuado.

4.1.2 Softwares desarrollados para OTT

La generación automática de la OTT según Grunow (2004), mediante el uso de un modelo matemático es la clave para el desarrollo de un adecuado sistema de soporte para tomar las decisiones involucradas en la OTT.

En el estudio sobre la OTT presentado por Rodríguez y Coves (2002), se citan algunos softwares que han sido desarrollados por diversos autores para llevar a cabo aplicaciones específicas de la OTT. Entre los cuales se encuentran:

- PETRA: de las siglas inglesas “ *Programable engine and Toolbox for Rostering Applications*”, el cual es una herramienta para programación de personal, que automáticamente genera los listados de trabajo programados. Está desarrollado en FORTRAN 90, utiliza como características los turnos diarios, transición de turnos, período de trabajo y acumulaciones. (Mason y Nielsen, 1999).
- ERG: de las siglas inglesas, “Expert Rotation Generator”, genera la programación de rotación del personal, y durante el proceso permite crear, cambiar y reportar los horarios de rotación del personal. Utiliza las librerías de ILOG. (Hare, 1998).
- HOROPLAN: herramienta para generar la programación del personal de enfermería, considerando las horas de trabajo anual, los días de descanso, el turno de trabajo y la unidad de cuidado a la que se asigna. Utiliza Charme y Borland C++. (Darmon, et al. 1995).
- ANSON: Presenta un programa automatizado de OTT en Hospitales, basado en la propuesta de tres fases de Abernathy. (Warner et al., 1990).

Según lo mencionado en el trabajo de Ernst et al. (2004) los software existentes tienen una capacidad significativa de optimización, pero están desarrollados para una área específica de aplicación y no es fácil utilizarla en otra industria (acomodar las necesidades propias), además de tener ciertas limitaciones específicas.

4.1.3 Aplicaciones en diferentes sectores

Aunque la mayoría de los estudios sobre la OTT hacen referencia a su aplicación en el sector hospitalario y al personal de las líneas aéreas, una óptima utilización del personal es requerida en todos los sectores donde se tenga una capacidad de personal a organizar. Los ámbitos de aplicación de la OTT según Ernst et al. (2004) son muy variados y van desde organizaciones de transportes como las líneas aéreas, sistema de ferroviario, industria médica, servicios de emergencia como la policía, bomberos, ambulancias, centros de llamadas; así como muchos otros organismos de servicio como restaurantes, hoteles y tiendas.

Esto se ha podido constatar por las publicaciones encontradas sobre la OTT y la diversidad de ámbitos en que se ha llevado a cabo su estudio. Algunos ejemplos de ellos, son las publicaciones que se listan a continuación.

Gomar et al. (2002), proponen un modelo de programación lineal aplicado a la industria de la construcción, el cual asigna el personal multifuncional que se dispone, a las diferentes tareas de la obra de un proyecto de construcción. En el estudio realizado señalan las ventajas que supone para toda organización el disponer de un personal multifuncional.

Gale et al. (2002) presentan un estudio realizado considerando 3000 organizaciones manufactureras de los Estados Unidos. Con su análisis, afirman que la OTT esta fuertemente relacionada con el incremento de habilidades personales, así como la capacidad del personal para resolver problemas, y estos dos parámetros son lo que desean tener los fabricantes en su personal. En esta publicación señala que la OTT además de incluir la rotación del trabajo, también en este ámbito laboral se incluye el trabajo en equipo, círculos de calidad, el justo a tiempo (*just in time*), calidad total, control de proceso, etc.

Litchfield et al. (2003), presentan un algoritmo heurístico que utiliza la búsqueda tabú (*tabu search*) para la OTT semanal del personal de un restaurante. El algoritmo considera diferentes categorías de personal que han de ser asignadas a una serie de horarios de trabajo fijos, la disponibilidad del personal, así como sus preferencias, por supuesto los requerimientos de la organización y la limitación de sus instalaciones.

Lagodimos y Leopoulos (2000), utilizan programación lineal entera para la OTT de una compañía manufacturera de alimentos (empaques) considerando un horizonte de un mes dividido en turnos de trabajo. Con esta herramienta determinan el personal mínimo necesario en cada turno, para lograr los objetivos de producción asociados con la producción individual de las líneas, en el cual dicha producción se define gracias a las habilidades del personal involucrado. El objetivo que persiguen es minimizar el coste de personal y su planificación considera tiempos para tomar alimentos, descansos, trabajo de media jornada, etc.

Grunow et al. (2004). Presentan una metodología para la OTT con el objetivo de llevar a cabo los estudios clínicos de nuevos medicamentos desarrollados por la industria farmacéutica. En este proceso de los estudios clínicos se requiere realizar las tareas con cierto orden cronológico y requieren personal específico para llevarlas a cabo, considerando además que varios estudios

clínicos se llevan a cabo al mismo tiempo. El planteamiento se realiza mediante programación lineal, dando como resultado la asignación de personal heterogéneo, a las diferentes tareas de los estudios clínicos, considerando una OTT para un horizonte de un día.

Dependiendo del ámbito en que se lleve a cabo la OTT, deben contemplarse distintos tipos de características. Como muestra de ello en la publicación de Ernst et al. (2004) se menciona las diferentes características que se presentan dependiendo del ámbito laboral en que se aplique, como es el caso de los organismos de transporte, donde las características del tiempo de inicio de la tarea y su localización, así como la su terminación y su localización son importantes; o bien el caso de los centros de llamada donde la demanda de las tareas no es conocida a priori de manera exacta y varía mucho en el tiempo. Otro ejemplo corresponde a los organismos de emergencia, en los cuales es primordial considerar el tiempo que tardan en responder a un incidente, así como la frecuencia y la cantidad de personal necesario para tratar los diferentes tipos de incidentes.

Para el caso de las organizaciones de servicios, un criterio importante es que el servicio sea de calidad y la influencia del coste de personal en estos organismos. Y por último en el ámbito de la industria manufacturera se considera entre las características, la prioridad de la producción de los diferentes artículos, así como el balance entre la demanda y los proveedores, buscando minimizar los costes del personal, inventarios, material y pérdidas por retraso en las entregas.

4.1.4 Método jerárquico (Corominas y Pastor. 2000)

Como ha sido expuesto en el capítulo de justificación, la estructura jerárquica para la OTT propuesta por Corominas y Pastor (2000), es la utilizada como marco de referencia para tratar el problema de asignación de tareas que se aborda en esta tesis doctoral. Esta estructura jerárquica se expone en la figura 4.1, que se muestra a continuación, donde se puede visualizar la vinculación de las tres fases y se especifica para cada una de ellas el dato que se obtiene del personal en cada fase del proceso de OTT.

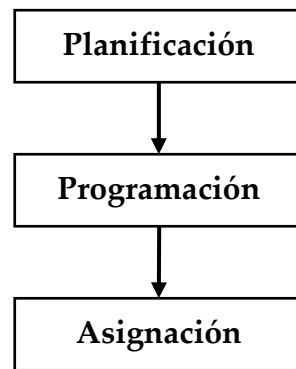


Figura 4.1. Diagrama de Método jerárquico para la organización del tiempo de trabajo (OTT), basado en propuesta de Corominas y Pastor, 2000.

Como se ha dicho en capítulos anteriores y lo constata la figura 5.1, la asignación de tareas parte de resultados obtenidos en las fases anteriores (planificación y programación) de la OTT. Por lo tanto al llegar a esta tercera fase, ya se tiene definida la cantidad de personal presente (con sus características) en cada uno de los intervalos del horizonte, por lo que llegado a este punto sólo hay que definir cómo se ha de distribuir este personal en las diferentes tareas dependiendo de los requerimientos tanto de la organización como del mismo personal.

Se han hallado bastantes estudios realizados sobre la OTT de forma general, pero hablando de las tres fases de forma independiente, se puede observar en la literatura consultada que los estudios se enfocan más a las dos primeras fases (planificación y programación) y los estudios relacionados a la tercera fase, la cual es el objetivo de esta tesis, han sido pocos hasta el momento.

4.2. Asignación de tareas

Este apartado se enfoca a la presentación de la información existente sobre la tercera fase de la OTT y la cual es el centro de interés de la presente investigación. Aquí se describe a fondo el tema y se presentan los antecedentes más relevantes encontrados en la literatura existente sobre asignación de tareas.

Zülch et al. (2004), establecen que para poder considerar la diversidad de posibilidades para asignar el personal a las tareas y explorar la flexibilidad de estos recursos, se necesitan herramientas de planificación efectivas. Y por supuesto la asignación conseguida tiene importantes efectos en los costes de personal y en el logro de los objetivos.

El método para asignar las tareas según Ernst et al. (2004) depende si las tareas son movibles, si existen descansos intermedios en los turnos de trabajo, si el personal extra está permitido, considerar también si ciertas tareas requieren de habilidades específicas.

La asignación del personal se debe realizar tomando en cuenta el ambiente en que se encuentra inmerso (léase capítulo 3), y por lo tanto la persona responsable de realizarla debe tener en cuenta, además del ambiente, por supuesto el personal del que dispone para satisfacer la demanda y sus características, para aprovechar al máximo de la capacidad de personal que dispone. El desarrollar esta actividad de forma manual, tal como indica Gascon et al. (2000) requiere invertir mucho tiempo y esfuerzo.

El análisis bibliográfico realizado por Grunow et al. (2004) destaca que, en muchas ocasiones, la asignación de personal se realiza de forma manual y además basada en prueba y error, lo que consume tiempo y no es muy viable cuando la asignación ha de ser realizada en un tiempo corto o bien cuando se tiene que hacer la reasignación porque se presentan sucesos imprevistos.

4.2.1 El problema de asignación de tareas

Un problema de asignación es definido por Ferland et al. (2001) como: dadas n tareas y m recursos, el problema es determinar una asignación de cada tarea a un recurso, optimizando una función objetivo y satisfaciendo las restricciones adicionales. Para el enfoque del problema de asignación que aquí se presenta, el recurso hace referencia al personal disponible en cada uno de los intervalos.

Los problemas de asignación según Toroslu (2003) se pueden clasificar conforme al orden jerárquico de las restricciones en dos clases: problemas de satisfacción de restricciones, los cuales buscan la satisfacción de restricciones con una cobertura perfecta, (antepone la satisfacción de restricciones sobre la cobertura de las tareas que se demanda), y una segunda clase son los problemas de optimización con restricciones, que buscan una cobertura perfecta satisfaciendo las restricciones (la satisfacción de las tareas que se demanda es prioritaria).

4.2.2 Modelos y aplicaciones

Las propuestas más relevantes desarrolladas hasta el momento para tratar el problema de asignación de tareas dentro de la OTT son:

Corominas et al. (2005), tomando como referencia el trabajo de Corominas y Pastor (2000), presentan un modelo que permite hacer las asignaciones de las tareas al personal polivalente, considerando factores como la demanda estacional, variación de la presencia del personal, además toma en cuenta ciertas condicionantes que regulan las asignaciones del personal a las tareas (períodos continuos mínimos y máximos en las tareas, proporción de tiempo dedicado a cada tarea, etc.). Proponen resolverlo como una secuencia de problemas de afectación, donde el horizonte de asignación está dividido en períodos. Se busca minimizar el valor de la función objetivo, la cual representa el coste total formado por el coste de cada pareja (personal-tarea), que representa la tarea asignada a cada persona en cada período del horizonte de asignación.

Se genera una matriz de costes para cada pareja (personal-tarea) y se utiliza un algoritmo que busca la asignación de menor coste, los resultados de cada período son registrados, ya que son considerados en las asignaciones de los períodos posteriores. Esto se hace sucesivamente para cada uno de los períodos que forman el horizonte.

Volgenant (2004), propone un modelo de programación lineal para la asignación del personal de enfermería (diferentes categorías) a las diversas tareas de un hospital, donde se considera la prioridad de asignación por categorías de personal, así como prioridad de asignación de las tareas. Entre las categorías de personal considerado se tiene personal extra para cubrir el absentismo o bien la sobrecarga de trabajo, pero si no son necesarias, pasan a una tarea asignada como entrenamiento.

La restricción de preferencia de personal implica que si una persona con la categoría más alta y calificada para realizar la tarea está disponible, debe ser asignada a esa tarea, independientemente del coste que conlleve. Y la restricción que considera las preferencias de tareas, consiste en que una tarea será satisfecha sólo si ninguna persona disponible puede asignarse a alguna tarea de prioridad más alta que ésta. Para resolver el problema utilizan el algoritmo de Jonker y Volgenant, el cual es basado en el camino aumentado más corto.

Corominas et al. (2003); proponen un modelo de programación no lineal entera mixta, el cual tiene como función objetivo minimizar las holguras y el exceso de capacidad, buscando homogenizar la asignación entre las diferentes tareas. El modelo es transformado y resuelto como un problema de flujo de coste mínimo (*minimum cost flow problem*) en una red particular con arcos de capacidad limitada inferior y superiormente, con el correspondiente coste unitario de transporte. La capacidad de los trabajadores es homogénea,

aunque sólo están capacitados para realizar cierto tipo de tareas. Se parte en dicho trabajo de la idea de que se conocen los períodos en que cada trabajador está presente, así como también las capacidades requeridas y las capacidades mínimas a utilizar. Los trabajadores se asignan a las diferentes tareas, buscando a la vez optimizar los objetivos de: por un lado minimizar la escasez relativa de la capacidad actual en relación a la deseada para cada tipo de tarea y distribuirla homogéneamente, y por otro minimizar el exceso de capacidad actual sobre la deseada y distribuirla homogéneamente entre los diferentes tipos de tareas, y por último maximizar la prioridad de asignación.

Campbell y Diaby (2002), proponen un algoritmo heurístico para hacer la asignación de personal a diferentes departamentos al inicio de la jornada de trabajo, y en el cual deberá permanecer durante toda su jornada. El personal tiene diferente eficiencia para los diversos departamentos. El modelo presentado busca maximizar el valor de la función objetivo, la cual representa la utilidad asociada con la capacidad del personal; es decir, busca asignar el personal al departamento donde tenga mejor capacidad para hacer un mejor aprovechamiento de la capacidad disponible. La función objetivo se considera cóncava, separable y aditiva por departamentos. Este documento hace referencia a que será interesante para futuros estudios la consideración de hacer una reasignación de tareas a lo largo de la jornada de trabajo.

Martí et al. (2000), proponen un algoritmo para asignar a los asistentes de profesores (AP) como vigilantes de exámenes finales en una universidad. El problema es formulado como un programa entero multicriterio, con una función objetivo ponderada, que combina la función de prioridades y la carga de trabajo. Para resolverlo proponen un algoritmo heurístico basado en la metodología de búsqueda de dispersión (*scatter search*). La búsqueda de dispersión consiste en construir soluciones mejoradas por combinación de otras soluciones, los elementos claves son: generar una población, extraer una serie de referencia, combinar dicha referencia, además de mantenerla y actualizarla. El problema que presentan lo consideran una extensión del problema de asignación general, permitiendo que más de un agente sea asignado a una tarea e introduciendo restricciones laterales. Las restricciones a las que se refiere son: cada examen debe ser vigilado por un número determinado de AP, un AP no puede exceder un número máximo de horas como vigilante, un AP no puede vigilar más de un examen al mismo tiempo, un AP no puede vigilar un examen que esté en conflicto con su propio examen, un AP es recomendable que vigile exámenes de cuyas materia haya impartido clase. Comparan los resultados del algoritmo con los resultados obtenidos manualmente y también con la asignación encontrada resolviendo la programación entera mixta con CPLEX.

Trivedi y Warner (1976), proponen una metodología, para realizar la asignación óptima del personal extra (*float nurse*) disponible, teniendo prioridad de asignación para las diferentes unidades. La prioridad de las unidades se basa en la percepción que tiene la persona responsable, sobre la necesidad de personal adicional (índice de severidad) en las diferentes unidades de cuidado. El modelo busca minimizar la función objetivo, la cual representa la satisfacción en referencia al índice de severidad y al mismo tiempo el mantener la equidad de capacidad cubierta entre las diferentes unidades.

El índice de severidad representa diversas variables independientes, como son: capacidad disponible de los diferentes niveles a lo largo de la jornada, tipos de pacientes que se tienen, nuevas admisión de pacientes, transferencia de pacientes, pacientes de cuidado pos-operatorio.

Warner y Prawda (1972), presentan un modelo para asignar de forma óptima el personal de enfermería de diferentes categorías (cada categoría tiene un coste específico) a las unidades de cuidado de un hospital. Se busca especificar la cantidad de personal de cada categoría que ha de ser asignado en las diferentes unidades, satisfacer las restricciones de capacidad, hacer un uso limitado de sustitución del personal por personal de otra categoría y minimizar los costes que implica el personal de enfermería al hospital.

El modelo lo presentan como un problema de programación cuadrática entera mixta, donde se busca minimizar la función objetivo, la cual representa el costo que ocasiona la escasez de personal de enfermería.

A continuación se presenta en la tabla 4.1, un resumen de las aportaciones antes mencionadas en este apartado que trata el problema de asignación de tareas.

Titulo de publicación y autores	Objetivo	Modelo	Método	Aplicación
Corominas et al., 2005. Rotational allocation of tasks to multifunctional workers in a service industry. ¹	Resolver el problema de asignación temporalizada de tareas en un centro de servicio con demanda estacional	Secuencia de problemas de asignación.	Rutina de Jonker y Volgenant (1987). Algoritmo basado en el camino aumentado más corto.	Ejemplos con 2, 3 y 4 categorías de personal; 3, 5 tareas diferentes y un horizonte de 720 períodos. Total de personal 20, 50 y 100.
Volgenant , 2004. A note on the assignment problem with seniority and job priority constraints	Satisfacer la demanda considerando la prioridad del personal y las tareas	Modelado como problema de programación lineal	Rutina de Jonker y Volgenant (1987). Algoritmo basado en el camino aumentado más corto.	
Corominas et al., 2003. Multi-objetive allocation of multifunction workers with lower bounded capacity	Asignación de personal minimizando las diferencias de capacidad asignada y necesaria, considerando prioridad del personal y la equidad entre tareas	Modelado como programación entera mixta no lineal	Resuelto como un problema de flujo de coste mínimo (<i>minimum cost flow problem</i>)	Ejemplos con 2, 3 y 4 categorías de personal; 3 y 5 tipos de tareas. Total de personal 25,50,100 y 250.
Campbell y Diaby, 2002. Development and evaluation of an assignment heuristic for allocating cross-trained workers	Asignación de personal con capacidad variada a múltiples departamentos al inicio de la jornada de trabajo.	Programación no lineal	Heurístico de asignación basado en una aproximación de asignación lineal.	Ejemplo de Warner y Prawda (1972). Son 4 departamentos, 2 niveles de entrenamiento y 20 personas en total.
Martí et al., 2000. Assigning proctors to exams with scatter search.	Asignación de personal para cuidar exámenes considerando las prioridades del personal y regulando la carga de trabajo	Modelo como un Problema general de asignación (GAP).	Búsqueda de dispersión (<i>scatter search</i>).	Ejemplos considerando hasta 180 personas y 210 tareas (exámenes).
Trivedi y Warner , 1976. A branch and bound algorithm for optimum allocation of float nurses.	Asignar personal de enfermería extra (<i>float nurses</i>) al inicio de la jornada de trabajo, buscando la equidad de personal entre las unidades	Problema general de asignación	Algoritmo Branch and bound.	5 unidades de enfermería de un hospital. Con 2 categorías de personal y un período de 4 semanas
Warner y Prawda, 1972. A mathematical programming model for scheduling nursing personnel in a hospital.	Asignar el personal de enfermería al inicio de la jornada de trabajo, en un ambiente multi-departamental, buscando minimizar el costo que ocasiona la escasez de personal	Problema de programación cuadrática mixta entera.	Tratado por el Teorema de Geoffrion (1970) "Primal Resource-Directive". Lo divide en un problema principal de programación 0-1, con subproblemas de programación cuadrática pequeña	Probado en seis salas generales (medico quirúrgicas de ortopedia). Representado por 277 de 600 camas.

Tabla 4.1. Resumen de los trabajos realizados sobre asignación de tareas.

¹ Esta publicación toma como referencia el trabajo realizado por Corominas y Pastor (2000).

4.3. Conclusiones del análisis del estado del arte

Las aplicaciones hechas sobre casos reales del tema en estudio se centran principalmente en el servicio hospitalario; pero hay sectores que también pueden verse muy beneficiados con estas aplicaciones de la OTT, como el sector turístico, tiendas de autoservicio, hostelería, etc., ya que las fluctuaciones de los requerimientos de personal en diferentes tareas tienen variaciones, dependiendo de la temporada, días, horas, etc. y es muy provechoso la flexibilidad laboral.

Como ya se ha mencionado, el problema de planeamiento del personal se ha dividido en tres fases (planificación, programación y asignación) para facilitar su resolución. Al hacer una revisión de la información sobre el tema, se ha observado, que las dos primeras fases han sido más estudiadas, y pocas veces abordada la tercera fase (asignación), la cual es el objeto del estudio. Además mucho menos las que han llegado al estudio de la asignación de tareas dinámica en la jornada de trabajo. Al hacer una revisión de la información sobre el tema, se ha observado, que los antecedentes más cercanos al tema tesis que se propone, son los presentados en la *Tabla 5.1*.

Hasta el momento la mayoría de los estudios hechos sobre el planeamiento de personal, se enfocan, prácticamente, a determinar la cantidad de personal en cada período de manera global (suma de la demanda de cada tarea). Por lo que define la cantidad de personal necesario en cada período y se establecen los horarios del personal, para cubrir los requerimientos. Pero pocas son las que van más allá de esta fase, es decir, precisar como ha de estar asignado en cada momento la cantidad de personal disponible entre todas las tareas.

Tenemos que aprovechar las ventajas de estos tiempos para hacer un uso del personal de manera flexible. Así como también de las aportaciones hechas por diferentes investigadores, haciendo una comparación de sus propuestas y tomar lo mejor de cada una, para obtener un mejor resultado en un menor tiempo.

Se ha observado que en la información relativa a la asignación de tareas, no existe una clasificación sobre las características que pueden involucrarse y por consiguiente los tipos diferentes de problemas que pueden presentarse.

En la tabla siguiente (tabla 4.1), se presenta una categorización de los posibles casos que se pueden presentar en la AT, considerando dos aspectos claves: el tipo de asignación en función del tiempo (dinámica/estática) y el

tipo polivalencia de personal involucrado (total/parcial). Además de clasificar las metodologías hasta el momento desarrolladas que permitan abordar los diferentes tipos de problemas de AT.

Tipo de Personal Tipo de Asignación	Polivalente	Parcialmente polivalente (o con diferentes niveles de polivalencia).
<i>Estática</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Martí et al., 2000. • Trivedi y Warner, 1976. 	<ul style="list-style-type: none"> • Volgenan, 2004. • Corominas et al., 2003. • Campbell y Diaby, 2002. • Warner y Prawda, 1972.
<i>Dinámica</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Corominas et al., 2005. 	

Tabla 4.2. Clasificación de los antecedentes de asignación de tareas.

La propuesta presentada por Corominas y Pastor (2005), resulta muy interesante y una base muy importante, ya que es la única propuesta que considera una asignación de tareas de forma dinámica.

Analizando las metodologías existentes para la asignación de tareas, se puede tomar ventaja para establecer el aspecto de multicriterio de nuestra propuesta, ya que en cada una de las propuestas se valen de criterios diferentes para modelar y evaluar sus resultados.

Como se ha observado, la tercera fase de la planificación del personal es conocida como asignación; consiste sencillamente en hacer una distribución del personal disponible a las diferentes tareas en cada uno de los períodos de tiempo que forman la jornada de trabajo, considerando el factor demanda, la capacidad del personal, el tipo de tarea y demás factores que puedan influir en la asignación de las tareas.

En cada una de las tareas, la demanda de personal de la que tanto se ha hablado, puede tener variaciones muy considerables de un período a otro. Estos períodos pueden ser considerados por intervalos de tiempo de 15 min., 30 min., 1 hora, etc. Por lo tanto, para lograr una optimización del recurso humano, tenemos que hacer un seguimiento para que el personal asignado esté acorde con esas fluctuaciones de demanda en las tareas para cada momento.

El poseer un personal polivalente es importante para la rotación de los trabajadores entre las tareas, ya que pueden ser asignados en cualquiera de ellas. Es decir la cantidad de personal total, coincide con el personal real disponible para cada tarea, lo que da una mayor libertad de movimiento.

Después de analizar la información referente al tema, se llega a la conclusión, que un punto muy importante y que hasta el momento no ha sido explorado, es aquél en que una vez determinada la cantidad de personal necesario durante cada jornada de trabajo se debe establecer para cada período de tiempo la asignación de personal (dentro de la jornada de trabajo). Es decir considerar que las características de nuestro personal son polivalentes y que podemos hacer rotaciones en las diferentes tareas, dependiendo de la fluctuación de la demanda de mano de obra que se vaya teniendo en cada una de ellas, a lo largo de la jornada de trabajo. Por lo tanto, el desarrollo de un modelo considerado bajo esas características resulta trascendental.

CAPÍTULO 5.

CLASIFICACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL PROBLEMA DE ASIGNACIÓN

Como se ha dicho en capítulos anteriores, la problemática de la asignación de tareas es muy extensa y la realidad que se vive en la organización del tiempo de trabajo es muy compleja por la gran diversidad de ambientes que se pueden generar en éste.

En este capítulo se propone una nueva clasificación del problema de asignación. Por la diversidad de características que se ven involucradas en el ámbito laboral, conviene hacer una clasificación de los tipos de problemas que se pueden presentar e identificar cuáles de ellos se pretende abordar en esta tesis doctoral.

Para ello primero presentaremos una descripción detallada de las características que se presentan en diversos ambientes, algunos parámetros y por los criterios de evaluación que son considerados. Además se hace referencias a las características consideradas en las metodologías propuestas con anterioridad (tabla 4.1 de capítulo 4) para tratar el problema de asignación de tareas.

5.1. Características

Como características se identifican los aspectos que constituyen el ambiente que rodea la organización, los cuales definen tanto el tipo de problemática que se presenta, así como la obtención de la asignación óptima. A continuación se describe cada una de las características consideradas.

5.1.1 Asignación (*asignación, reasignación y concatenación*)

Esta característica se refiere al tipo de asignación que se realiza, es decir si se hace una asignación al inicio del horizonte de asignación, esto se conoce como *asignación*. El segundo tipo es la *reasignación*, que sucede cuando cambian las necesidades de la organización dentro del mismo horizonte, por lo que se lleva a cabo una nueva asignación para el horizonte restante considerando el historial de lo asignado hasta el momento. Por último la *concatenación* es la asignación de tareas de un nuevo horizonte de asignación, considera el historial de lo asignado en horizontes anteriores.

5.1.2 Polivalencia del personal

El tipo de personal se refiere a la capacidad que tienen las personas para realizar las diferentes tareas. Se denomina polivalencia la capacidad de efectuar más de una tarea. Existen diferentes grados de polivalencia.

- Personal con *polivalencia total*: Este tipo de polivalencia hace referencia al personal que tiene capacidad de realizar las diferentes tareas que comprende la organización, presentando el mismo rendimiento para desarrollar la actividad, independiente de cuál sea asignada.
- Personal *semi-polivalente*: El término semi-polivalente se refiere al tipo de personal que puede realizar más de una tarea, pero no el total de tareas comprendidas en la asignación, o bien que dependiendo del tipo de tarea que sea asignada el nivel de rendimiento para llevar a cabo la actividad se vea afectada.
- Personal *no polivalente*: Este tipo de personal, es un sinónimo de personal especializado, es decir que tiene capacidad y entrenamiento para el desarrollo de un solo tipo de tarea.

5.1.3 Rendimiento

Esta característica se refiere a la eficiencia con que el personal realiza una tarea específica. Es decir que dependiendo de la tarea asignada su rendimiento se verá afectado, esto es lo que identificamos como *rendimiento con diferentes niveles*; y consideramos como *rendimiento uniforme* aquél cuya capacidad independientemente de la tarea que sea asignada al personal, se mantiene siempre al mismo nivel.

5.1.4 Demanda de personal

Este término se refiere al personal necesario para satisfacer los requerimientos de las tareas a realizar en cada intervalo de tiempo. Existe el caso en que la organización del trabajo conoce previamente las necesidades en cada instante, se identifica como el caso con *demanda determinista* y el segundo caso que se presenta es el de *demanda aleatoria*, el cual significa que las necesidades de cada una de las tareas no son conocidas con exactitud a priori.

5.1.5 Relación entre tareas

Este aspecto comprende las interacciones que se dan entre tareas. Se distingue el caso con *tareas dependientes*, las cuales son aquéllas cuyo desarrollo depende de que otra tarea se realice a la par, o de que haya sido realizada con anterioridad alguna otra tarea o bien que esta tarea sea el prerrequisito para efectuar otra tarea. Por otro lado existe el caso en que cada una de las tareas sea realizada de forma *independiente*.

5.1.6 Carga de trabajo

Se describe la carga de trabajo como la capacidad que tiene el personal de poder asignarle una tarea o más de una de forma simultánea. El personal al que se le puede asignar más de una tarea simultáneamente lo identificamos como *personal compatible*, esto sucede cuando por las características de las tareas se permite que la misma persona pueda desarrollar diferentes tareas en un mismo intervalo de tiempo, ya sea, por ejemplo, motivado porque el tiempo requerido para realizar la tarea sea menor al tiempo que dura un intervalo de tiempo o bien que la tarea requiera de una mínima atención del personal. Y para el caso contrario, en que sólo puede ser asignada una sola

tarea al personal en cada intervalo de tiempo, nos referiremos al caso con *personal incompatible*.

5.1.7 Naturaleza de las tareas

Esta característica relaciona cada una de las tareas con la capacidad del personal requerido para llevarla a cabo. Consideramos dos tipos de naturaleza de tareas, homogénea y heterogénea. Nos referimos a tareas de *naturaleza homogénea* en el caso en que para satisfacer cualquiera de las tareas de forma unitaria se requiere de la capacidad equivalente a una persona. En cambio hablamos de que las tareas son de *naturaleza heterogénea* cuando la capacidad de personal para desarrollar una tarea puede variar dependiendo de sus necesidades particulares, ya sea por el nivel de atención requerido, su desgaste físico, nivel de concentración, etc.

5.1.8 Tipo de actividad

Se consideran dos tipos de actividad: *instantánea y diferida*. Se habla de tipo *instantánea* si la tarea ha de ser satisfecha en el intervalo de tiempo en que se demanda, sin posibilidad de adelantarla o retrasarla. Como contraparte el tipo de *actividad diferida* se refiere a aquella en que la tarea puede ser desplazada en el tiempo, acorde a la capacidad que se tenga disponible en los diferentes intervalos de tiempo.

5.1.9 Disponibilidad requerida

Nos referimos a disponibilidad como el personal disponible en cada intervalo de tiempo. Se denomina *disponibilidad exacta*, cuando el personal coincide con la cantidad necesaria en cada intervalo de tiempo; y la denominación *disponibilidad aproximada* aquella en que el personal disponible en cada intervalo de tiempo es superior o inferior a la demanda en cada intervalo de tiempo.

5.1.10 Trabajo en equipo

Esta característica se refiere a la relación que pueda existir al realizar la misma tarea por más de una persona en el mismo instante de tiempo. Un primer caso es el que denominamos como *conjunto*, cuando se tiene un efecto tanto negativo como positivo de que dos determinadas personas compartan el mismo trabajo. El efecto positivo se da cuando el trabajo realizado refleja un

mejor rendimiento en el alcance de los objetivos y el negativo es aquel en el que la convivencia entre personas puede ocasionar que su rendimiento se vea disminuido, ya sea por distracción, diferentes formas de trabajar, mala comunicación, etc. El segundo caso que se puede presentar es el que denominamos como *autónomo*, el cual se presenta cuando no hay ninguna relación entre las personas al desarrollar las actividades.

5.1.11 Prioridad del personal

La organización puede expresar una prioridad de asignación del personal. Para el cual se consideran dos tipos, el que denominamos una prioridad del personal *existe* y el de personal con prioridad *no existe*. El primer tipo se presenta cuando se tiene un solo tipo de personal y por lo tanto la prioridad de empleo del personal es igual para todas las personas que han de asignarse o bien no existe una prioridad de asignación entre los diferentes tipos de personal. El segundo tipo, es aquel en que se dispone de un personal que independiente de las características propias del individuo, posee prioridad de asignarle tareas sobre otras personas, esto puede ser debido a la existencia de diferentes categorías, a la antigüedad de la persona en la organización, a las habilidades que posea, al coste, etc.

5.1.12 Preferencias del personal

En muchas organizaciones, se invita al personal a expresar el deseo de realizar ciertas actividades, para incluir dichas preferencias en la mejor asignación de tareas. En los problemas de la organización de tiempo pueden ser consideradas o no dichas preferencias, dependiendo del interés que tenga la organización en reflexionar sobre la existencia de ellas.

5.1.13 Prioridad de las tareas

En la organización del tiempo de trabajo, la existencia de una capacidad disponible que coincida exactamente con la demanda es casi imposible, por lo que algunas organizaciones ven la necesidad de establecer una prioridad de satisfacción de sus tareas.

Característica		Sigla
Asignación	Asignación	AS
	Reasignación	RE
	Concatenación	CON
Personal	Polivalencia total	P
	Semi-polivalente	S
	No polivalente	N
Rendimiento	Uniforme	U
	Diferentes niveles	D
Demanda	Determinista	DE
	Aleatoria	AL
Relación de tareas	Independientes	IND
	Dependientes	DEP
Carga de trabajo	incompatible	MOF
	compatible	MUF
Naturaleza de tareas	Homogénea	HO
	Heterogénea	HE
Tipo de actividad	Instantánea	IN
	Diferida	DI
Disponibilidad requerida	Exacta	EX
	Aproximada	AP
Correlación de rendimiento	Conjunto	CO
	Autónomo	AU
Prioridad del personal	Existe	IG
	No existe	DIF
Preferencia del personal	Si existe	SI
	No se considera	NO
Preferencia de tareas	Si hay	SH
	No hay	NH

Tabla 5.1. Clasificación de características

5.2. Otros factores a considerar

En el apartado anterior del presente capítulo se han descrito las características que se presentan en el problema de asignación de tareas y que contienen más de una forma de manifestarse en el ambiente donde se lleva a cabo la organización del tiempo de trabajo. Además de dichas características se tienen

otros aspectos que también han de ser considerados y que a continuación se presentan.

5.2.1 Cantidad de personal a una tarea

Este concepto hace referencia a los casos en que se manifiesta una limitación en el número de personas que pueden ser asignadas a una tarea en un mismo instante de tiempo. Los aspectos que lo condicionan pueden ser por ejemplo: que el desarrollo de la actividad requiere de cierto espacio físico, por las herramientas de trabajo necesarias, la capacidad de supervisión, etc.

5.2.2 Categorías de personal

En las organizaciones se da el caso en que el personal no es tratado de forma individual, sino que es clasificado por grupos de trabajo, estas agrupaciones se establecen de acuerdo a peculiaridades generales de personal. Como se ha dicho anteriormente, estas agrupaciones pueden formarse de acuerdo con sus capacidades, conocimientos, antigüedad en la organización, etc. Partiendo de estas agrupaciones o categorías, la asignación se lleva a cabo, condicionada a la categoría a que pertenece el personal y a sus propiedades.

5.2.3 Trabajo continuo en tareas

La rotación entre tareas es una de las características que acentúan la problemática presente en la asignación de tareas, ya que en la mayoría de organizaciones se desea obtener que el personal no permanezca en la misma tarea a lo largo del horizonte de asignación. Los intervalos continuos de trabajo pueden ser establecidos como un número exacto de intervalos en la que se ha de realizar la misma tarea (*bloques*), definirlos por un *rango* delimitado por un valor mínimo y máximo de intervalos, o establecer un conjunto mínimo o bien un máximo de intervalos. Dependiendo del tipo de actividad que se realice, se establece la opción que mejor convenga a la organización.

5.2.4 Dedicación a las tareas

Este aspecto se refiere al tiempo que ha de pasar el personal por cada una de las tareas, en el tiempo total que constituye el horizonte de asignación. Al igual que la característica que se describe en el apartado anterior, la

dedicación a diferentes tareas es deseada y en algún caso necesaria para la organización, ya que permite contar con un personal entrenado que lo lleve a mantener la capacidad para realizar las diferentes tareas y poder mover a sus recursos dependiendo de sus necesidades.

5.2.5 Tamaño del horizonte de asignación

El tiempo que constituye el horizonte de asignación es un componente influyente en el problema que vaya ser cuestionado, ya que es muy diferente hacer una planificación para una jornada de trabajo, para una semana, para un mes o para un año, ya que los factores a considerar varían de un caso a otro o bien pueden verse alterados.

5.2.6 Cantidad de tipos de tareas

La cantidad de tipos de tareas que se involucran en la organización donde se ha de realizar la asignación, afecta directamente la complejidad del problema. Esto se suscita porque varias de las características que se implican se ven alteradas, ya que su actuación se rige directamente por la diversidad de tareas consideradas. Una muestra de ello es por ejemplo que no es lo mismo hacer la rotación del personal entre dos tipos de tareas que entre más tareas.

5.3. Resumen de las características en los antecedentes

Una vez expuestos los antecedentes relevantes sobre la asignación de tareas en el capítulo anterior, aquí se exponen las características y la forma en que los estudiosos del tema han considerado importantes incluir en sus propuestas.

En la tabla 5.2 que se exhibe a continuación, se presenta las características, cada una de ellas referenciada por los antecesores que las han considerado en su estudio. Como se puede observar en la tabla 5.2, no todas las características han sido incluidas y/o explotadas en las propuestas realizadas hasta el momento para la asignación de tareas.

Características		Antecedentes que la consideran	
Asignación	Asignación	Estática	[13,20,46,64,68,69]
		Dinámica	[23]
	Reasignación		
	Concatenación		
Personal	Polivalencia total	[23,46, 64,69]	
	Semi-polivalente	[13, 20,23,68]	
	No polivalente		
Rendimiento	Uniforme	[20,23,46,68,69**]	
	Diferentes niveles	[13, 64,69]	
Demanda	Determinista	[13,20*,23,46,64,68,69]	
	Aleatoria		
Relación de tareas	Independientes	[13,20,23,46,64,68,69]	
	Dependientes		
Carga de trabajo	Incompatible	[13,20,23,46,64,68,69]	
	Compatible		
Naturaleza de tareas	Homogénea	[13,20,23,46,64,68,69]	
	Heterogénea		
Tipo de actividad	Instantánea	[13,20,23,46,64,68,69]	
	Diferido		
Disponibilidad requerida	Exacta	[23,46,69]	
	Aproximada	[13, 20,64,68]	
Correlación de rendimiento	Conjunto		
	Autónomo	[13,20,23,46,64,68,69]	
Prioridad de uso del personal (acorde al coste)	Existe	[64,68,69]	
	No existe	[13,20,23,46]	
Preferencia del personal	Si existe	[13,20,23,46,64,68]	
	No se considera	[65]	
Preferencia de tareas	Si hay	[13, 20,64,68]	
	No hay	[23,46,69]	
Presencia de personal	Continuo	[13,64,68]	
	Discontinuo	[20,23,46,69***]	
Otros factores			
Intervalos continuos realizando la misma tarea	Rango	[23]	
	Bloque		
	asigna solo 1 período	[13,64]	
Tiempo de dedicación a tarea		[23]	
Limita el número de personas por tarea		[13, 20,69****]	
Limite el nivel de satisfacción de la demanda		[20,46]	
No exceder el numero de horas que se asignen		[46]	
*Establece el mínimo de capacidad deseada			
** Considera diferentes categorías y dependiendo de éstas se define su rendimiento en relación al rendimiento de otro tipo de personal para la misma tarea.			
*** El personal estará presente sólo cuando sea requerido			
**** Limita la cantidad de personas que se han de asignar a cada tarea por categoría			

Tabla 5.2. Identificación de las características propias de los antecedentes relevantes sobre asignación de tareas

5.4. Criterios de evaluación

En la literatura sobre la organización de tiempo de trabajo en su etapa de asignación se han encontrado una gran diversidad de criterios que han sido utilizados para evaluar la asignación óptima del personal. Los criterios considerados son muy diferentes y estos dependen de los intereses de la organización.

Para hacer un análisis de la gran diversidad de criterios, en esta tesis se ha realizado una clasificación ordenándolos acorde al aspecto que lo rige. Estos aspectos a que nos referimos son el económico, regularidad del trabajo y la consideración de preferencias.

5.4.1 Económicos

En el ámbito laboral el aspecto económico como muchos otros ámbitos en que la organización se ve inmersa, resulta importante el vigilar un buen manejo de sus recursos económicos, ya que su éxito lo miden basándose en los beneficios económicos que la organización obtiene.

Dentro de este aspecto se encuentran dos criterios: los medidos por los recursos económicos que consumen, y otro medido por los beneficios económicos que deja de obtener la organización por un mal manejo de su personal.

5.4.1.1 Coste de personal

Una de los costes mayores para el funcionamiento de una organización en muchos casos es el coste que genera el personal, como lo indican Sitompul y Randhawa (1990), que el coste del personal de enfermería es el principal coste de operación en el sector hospitalario. Por lo tanto en las organizaciones en que se tiene esta situación, el buscar una utilización óptima de sus recursos humanos se vuelve su estrategia de evaluación para la asignación.

Las disposiciones que se encuentran ligadas a este tipo de evaluación son los beneficios obtenidos de una buena gestión del personal, las pérdidas que se tienen por no asignar al personal a la tarea más idónea, el derroche de mano de obra por fuga de capacidad, el generar costes innecesarios por tener más personal del necesario, entre otros.

5.4.1.2 Satisfacción de la demanda

El utilizar el aspecto de satisfacción de la demanda como un factor evaluador de la asignación óptima, responde a la perspectiva de las organizaciones de hacer una buena distribución de la capacidad de que se dispone, lo que permita una satisfacción plena de la demanda por los beneficios que esto conlleva.

Los beneficios que soporta el logro de una satisfacción de su demanda, responde directamente a los pronósticos de demanda de sus clientes y los convierte en requerimientos de capacidad (Buffa, 1976). El poder saciar estos requerimientos, permite a las organizaciones cumplir con las necesidades de sus clientes.

Como se ha mencionado en el apartado anterior, no siempre se tiene la capacidad necesaria para satisfacer los niveles requeridos en cada instante de tiempo, en algunos casos las tareas tienen la característica de poder ser diferidas en el tiempo, permitiendo una total satisfacción de la cantidad de capacidad requerida en cada una de las tareas. Al adelantar o retrasar una actividad, se debe considerar los costes que esto supone, ya que el generar stock o el no poder dar un servicio en el momento en que éste sea requerido repercute en el coste y por supuesto en la calidad ofrecida a los clientes, por consiguiente ambos afectan directamente en los beneficios económicos de la organización.

5.4.2 Regularidad del trabajo

La consideración de la regularidad del trabajo como factor evaluador, es el buscar el equilibrio entre el factor ergonómico y la obtención del máximo beneficio para la organización. Dentro de este aspecto se consideran el criterio de intensidad de trabajo, el tiempo de dedicación a las tareas, equidad entre tareas.

5.4.2.1 Intensidad de trabajo

Se presenta este criterio como la carga de trabajo que se asigna al personal en cada intervalo. Aunque el personal tenga la capacidad para realizar diferentes tareas, el desgaste que genera al llevar a cabo una tarea puede ser muy diferente al que se requiere en el desarrollo de otra. El desgaste puede ser provocado tanto por el esfuerzo físico necesario en la tarea, por el nivel de

atención requerido, por el trabajo intelectual generado, emocional o bien otros factores ergonómicos que provocan una alteración del ambiente en que se realiza determinada tarea

5.4.2.2 Proporciones de tiempo de dedicación a las tareas

Dentro del estudio del tiempo de trabajo, en algunas situaciones se busca el equilibrio en el tiempo de dedicación en las diferentes tareas, lo que permite mantener el nivel de entrenamiento para asignar al personal a la tarea que sea necesaria para satisfacer sus requerimientos.

Dependiendo de la complejidad de la tarea o bien de su nivel de adiestramiento necesario, será el tiempo que el personal ha de pasar en la tarea a lo largo del horizonte de asignación.

5.4.2.3 Equidad entre las tareas

Es frecuente en la situación real de las organizaciones que el personal disponible no coincida exactamente con la cantidad que se demanda. Aunque en la organización del tiempo de trabajo, las dos fases previas (planificación y programación) a la asignación, buscan que la disponibilidad de personal en cada intervalo de tiempo se ajuste lo máximo a los requerimientos, en muchos casos esto es imposible y se presenta un exceso o escasez de personal disponible.

Partiendo del preámbulo anterior, este criterio lo que pretende es buscar un equilibrio en la distribución del personal que se dispone entre las diferentes tareas. Lo que persigue es que algunas de las tareas no sean sobrecubiertas y por otro lado otras queden con una cobertura muy por debajo de la cantidad de personal requerido. Dicho en otras palabras, lo que evalúa es que las tareas queden más o menos con un nivel similar de cobertura de sus demandas.

5.4.3 Preferencias

Considerar las preferencias del personal, así como las de la organización como un factor evaluador, responde a la perspectiva de la organización del tiempo de trabajo, que como lo indica Cox (1989), busca que sean reconocidas las exigencias de la organización reflejadas en este caso como las preferencia de satisfacción de sus tareas, y por otro lado saciar la necesidad del personal que se manifiesta en la preferencia de realizar determinadas tareas.

5.4.3.1 Preferencias del personal

Este criterio evaluador se rige por la necesidad de cumplir con las expectativas, de que sean desarrolladas cada una las tareas por un personal específico, lo cual es identificado como la preferencia del personal.

Esta preferencia puede ser instaurada para expresar, tanto las predilecciones por parte del personal para desarrollar alguna o algunas tareas en concreto, o bien que reflejen la preferencia por parte de la organización de poner al personal donde mejor le convenga.

5.4.3.2 Preferencias de la organización

El llevar a cabo la asignación de tareas bajo el criterio evaluador de preferencia de la organización se pueden considerar dos aspectos, el que se refiere a las preferencias de las tareas, que es considerado por las organizaciones cuando están en la situación de tener una cantidad de personal disponible menor a la necesaria, que impida satisfacer totalmente la demanda, lo que las lleva a determinar entre sus tareas un orden de prioridad para satisfacer la demanda y hacer la distribución del personal. Hablando de este aspecto, también se da el caso de tener una cantidad de personal superior al necesario, por lo que en este caso al marcar dicha prioridad en la cabeza estarán las tareas en que la organización determine que tener un exceso de personal le resulta más provechoso.

Por otro lado esta el considerar las preferencias de utilización del personal, que como ya se ha dicho es una característica y también puede considerarse un criterio de evaluador, buscando que la asignación de tareas se efectúe considerando la prioridad de asignación del personal disponible, ya sea por el coste, su capacidad, la necesidad de entrenamiento, etc.

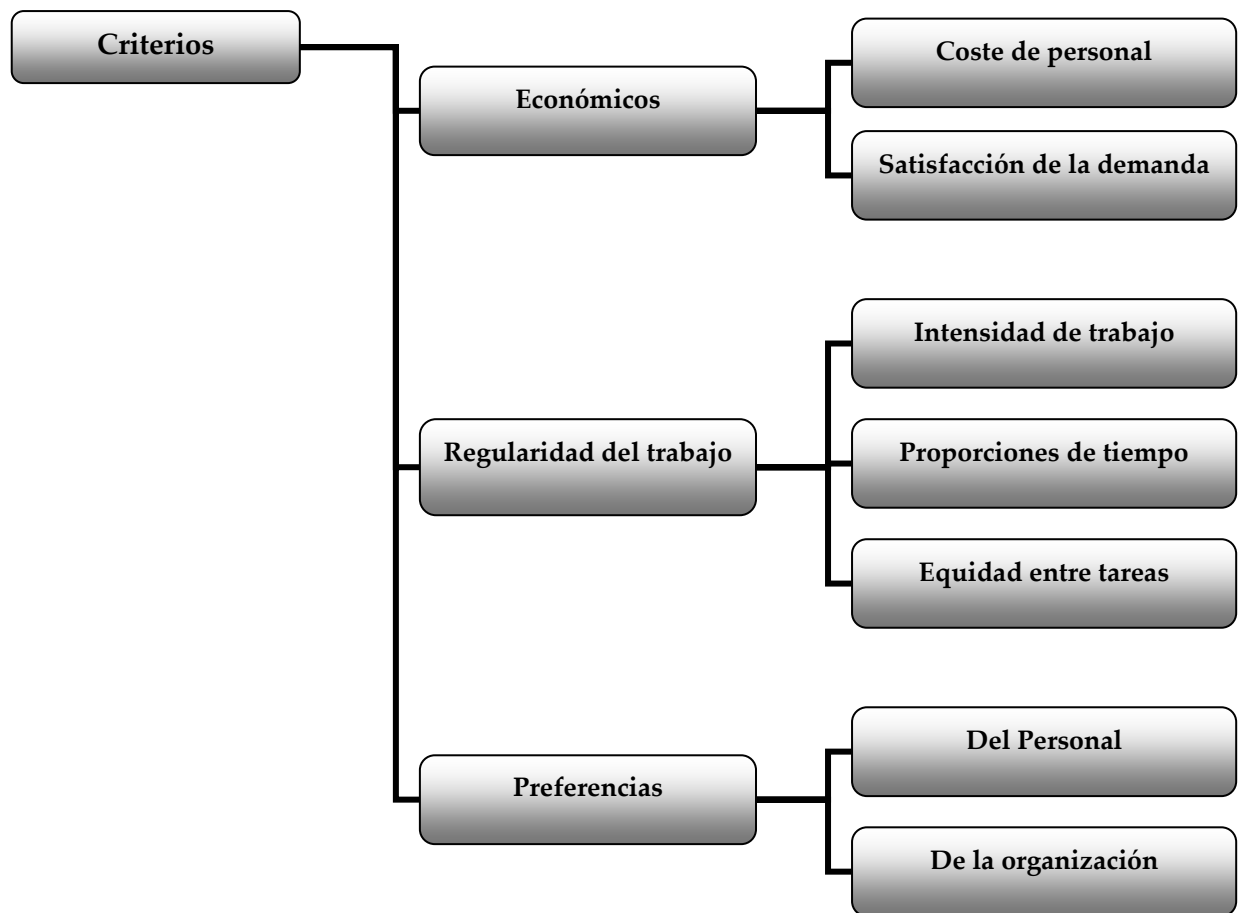


Figura 5.1 . Criterios de evaluación

5.4.4 Criterios utilizados

Al realizar el análisis del estado del arte sobre la asignación, se ha observado que los criterios utilizados en las metodologías que anteceden esta tesis doctoral son muy diversos y abarcan todo el espectro de criterios de evaluación que han sido definidos y clasificados en el apartado anterior.

Como se ha puesto de manifiesto, los criterios utilizados son muy variados en cada una de las propuestas analizadas y definidos por sus autores dependiendo del interés de su aplicación. En la tabla 5.3 que se muestra a continuación, se hace la identificación del (los) criterio(s) utilizados en las propuestas predecesoras, situando cada una de ellas en la naturaleza del criterio correspondiente.

Criterios		antecedente
Económicos	Coste de personal	[69]
	Satisfacción de la demanda	[68]
Regularidad del trabajo	Intensidad de trabajo	[46]
	Proporciones de tiempo	[23]
	Equidad entre tareas	[64, 20]
Preferencias	Del personal	[46, 20]
	De la organización	[13]

Tabla 5.3. Identificación de los criterios de evaluación utilizados en antecedentes.

CAPÍTULO 6.

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Después del análisis del estado del arte sobre la organización del tiempo de trabajo y en específico sobre la fase de asignación de tareas, se establece la problemática específica de asignación de tareas a la que se busca respuesta con esta tesis doctoral.

Acorde a la clasificación de características del problema de asignación presentado en el capítulo anterior, aquí se listan las características específicas que pueden presentar los diferentes casos que están comprendidos dentro de los problemas de asignación de tareas que se pretender afrontar en esta tesis.

Para poder dar solución a una amplia gama de problemas de asignación de tareas, los tipos de problema que se consideran son los tres tipos de asignación mencionados en la clasificación de características. Por un lado se tienen los problemas en que requieren de la **asignación** de tareas para un horizonte de tiempo específico. Un segundo tipo es el conocido como **reasignación**, el cual como ya fue explicado, consiste en llevar a cabo una nueva asignación para los intervalos de tiempo que faltan por realizarse dentro del horizonte considerado inicialmente, ya que debido a que las necesidades han cambiado se requieren ajustes en la asignación. Y por último el tipo denominado **concatenación**, el cual consiste en llevar a cabo una asignación considerando el historial de una asignación realizada con anterioridad. Tiene por objetivo tratar problemas en que se amplia el

horizonte de asignación, al conocerse las nuevas necesidades futuras o bien para poder dar solución a problemas en que se amplía horizonte de asignación sea muy grande, pudiéndolo dividir en horizontes más pequeños para buscar la asignación óptima.

El problema de asignación de tareas que aquí se trata, parte de un conocimiento previo de las necesidades a lo largo del horizonte de asignación por lo tanto la **demanda** que se incluye en la problemática a tratar es de tipo determinista, considerando que se pueden dar casos en que tengamos un personal disponible igual al que se demanda o bien en que sea superior o inferior a las necesidades (aproximado), lo que hace tener de la característica de disponibilidad requerida sus dos formas: **disponibilidad de capacidad exacta** y **disponibilidad de capacidad aproximada**.

Como el título de la tesis indica, el tipo de personal considerado en este trabajo es el personal con **polivalencia total** o **semi-polivalente**, teniendo en cuenta la característica de rendimiento en sus dos formas, es decir tanto personal con **rendimiento uniforme** para realizar las tareas o bien que varía dependiendo de la tarea asignada (**diferentes niveles**) y únicamente considera una correlación de rendimiento de tipo **autónomo**.

Continuando con las características del personal que son consideradas en el problema de asignación de tareas al que se busca dar respuesta en esta tesis doctoral, respecto a la carga de trabajo sus dos tipos están incluidos, es decir, los problemas en los que sólo pueda asignarse una tarea al personal en cada instante de tiempo (**incompatible**) y aquellos, en que dependiendo de las **naturaleza de las tareas** (es considerada en el problema tanto la **homogénea** y la **heterogénea**), permite la asignación de dos o más tareas a la vez (**compatible**). En cuanto a las **preferencias del personal** en la definición del problema, están contenidas ambas alternativas de esta característica, es decir el tomarlas en cuenta (**si existe**) o bien que el problema no considere (**no se considera**) sus preferencias, y por último respecto a las características del personal, hemos de decir que en los problemas a tratar las **prioridades de empleo de personal** pueden ser **iguales** o bien incluir una prioridad de empleo de las personas (**diferente**).

En cuanto a las características que pueden presentar las tareas y que son incluidas en los problemas a tratar son: las tareas han de ser realizadas en el instante en que se **demandan (instantánea)**, se considera solamente la existencia de tareas independientes (no hay afectación), en cuanto a la preferencia de satisfacción se comprenden dentro del problema ambas formas, es decir el tenerlas en cuenta las **preferencias de las tareas (si hay)** o bien aquellos problemas en las que no se incluyen (**no hay**), y el **trabajo**

continuo en la tareas se considera el de tipo **rango**, así como los problemas en que la asignación de las tareas debe realizarse por **bloque**.

Por último se incluyen otros factores que permiten un trato de problemas más complejos y diversos como es, el considerar unos niveles de satisfacción de las necesidades, tener el personal clasificado por categorías, así como el tiempo ideal de dedicación a las diferentes tareas por cada persona.

En la figura 6.1 que aparece a continuación, se enfatiza en las características y las formas distintas en que éstas se pueden presentar dentro del problema de asignación de tareas. En los capítulos siguientes se presenta la modelización de estas características mediante programación lineal mixta y la validación del modelo que propone esta tesis doctoral.

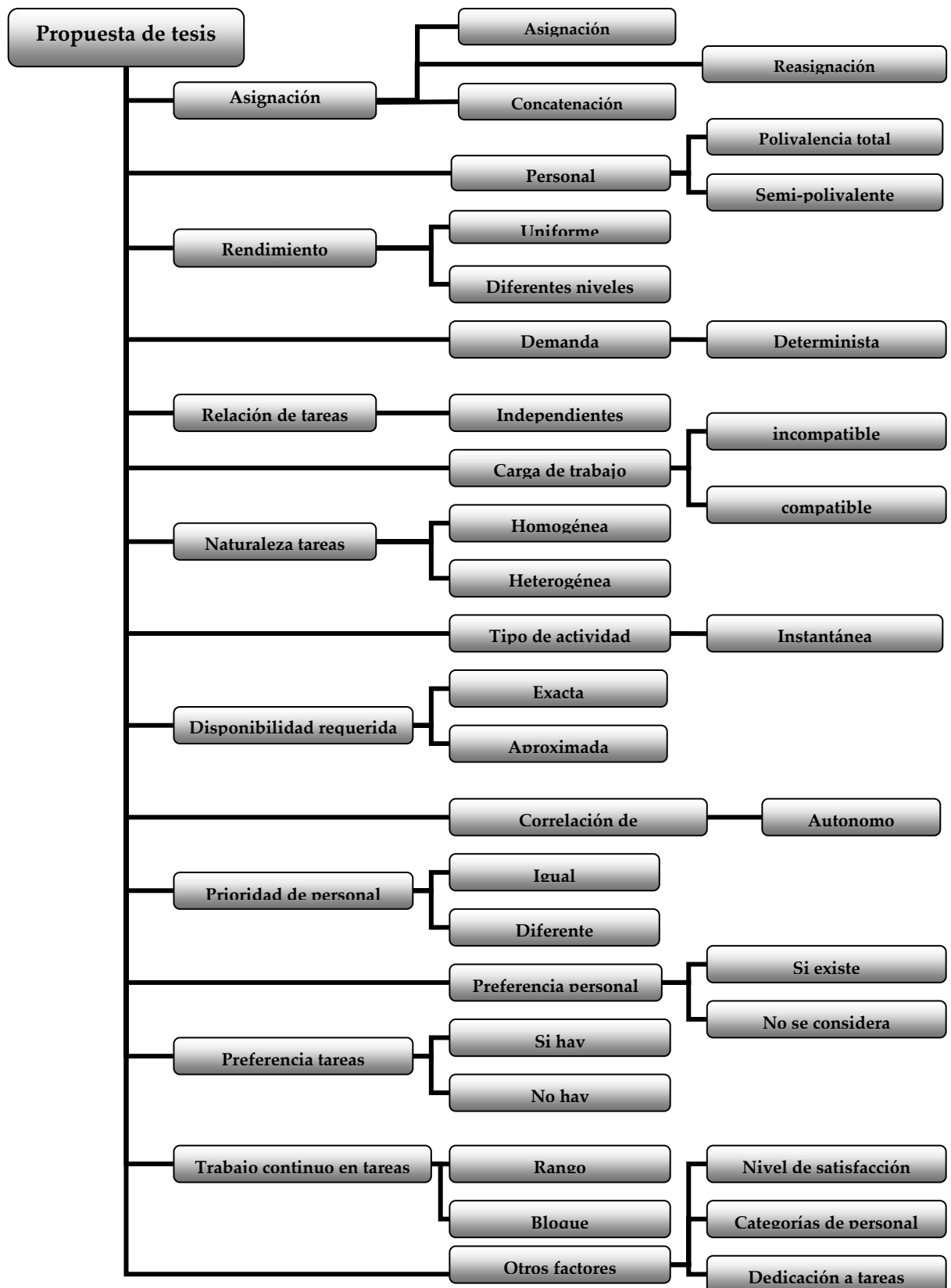


Figura 6.1 Características de asignación consideradas en la metodología propuesta

Para el trato de los problemas de asignación además de considerar las diversas características que pueden estar contenidas en el problema que se pretenda tratar con la metodología propuesta, se han de tener en cuenta algunos datos básicos, como es: la presencia de categorías del personal, la cantidad de personal, el horizonte de asignación considerado, así como las limitaciones de asignación de personal en las diferentes tareas.

Se busca resolver los problemas de asignación de forma eficiente, por lo que se ha de definir la función objetivo con la que se evalúen las asignaciones de las tareas al personal. Considerando que la problemática que se pretende resolver es muy diversa, y su aplicación no se limita a un ámbito laboral específico, se propone una función objetivo multicriterio, que permita darle la importancia relativa a los diferentes criterios, acorde al problema que se este tratando. Los criterios considerados en la función objetivo son de tipo tanto económicos, regularidad del trabajo y de preferencias y se detallan en el capítulo 5.

El objetivo de la tesis como ya fue detallado en el capítulo 2, busca resolver el problema de asignación de tareas para un horizonte de tiempo determinado, teniendo en cuenta la diversidad de ambientes, esto debido a las características y datos de partida que pueden presentarse. Dicho horizonte es dividido en intervalos de tiempo, donde para cada uno de ellos se tiene un conocimiento previo de la demanda de las tareas y del personal que se dispone, por lo que el problema consiste en determinar conforme a los criterios de evaluación la(s) tarea(s) a que se ha dedicar el personal presente en cada uno de los intervalos de tiempo que forman el horizonte de asignación.

CAPÍTULO 7. MODELADO DEL PROBLEMA

Como se ha visto en el capítulo anterior, existe una diversidad de características que pueden ser consideradas en el problema de asignación de personal y una combinación de dichas características deriva en una gran cantidad de casos del problema.

En este capítulo se detalla el modelado del problema de asignación con las características que se han considerado importantes para abordar en esta tesis y la diversidad de casos que se pueden llegar a generar, lo que permite abarcar de una manera general la principal tipología del problema de asignación. El modelado se presenta mediante programación matemática, específicamente haciendo uso de la programación lineal entera mixta (*mixed integer linear programming*).

Acorde a las características que afectan directamente el modelado del problema de asignación de tareas que se aborda en esta tesis, se ha hecho una clasificación e identificación previa de los modelos que surgen, para especificar el modelo que se ha de utilizar dependiendo del tipo de característica que involucre el problema que se este tratando. La identificación del modelo se inicia con la sigla que hace referencia al tipo de asignación que le corresponde, es decir, si es de tipo de *asignación "B"* (la problemática corresponde a una asignación para un conjunto de intervalos determinados, donde no se tiene un historial previo de asignación), de tipo *reasignación "R"* (hace referencia a los problemas donde una vez realizada una

asignación, requiere llevar a cabo una nueva asignación en algún intervalo de tiempo comprendido en el horizonte definido con anterioridad) y por último el de *concatenación "A"* (que es la que se basa en una asignación previa para llevar a cabo la asignación de un nuevo conjunto de intervalos de tiempo).

Una segunda letra que identifica a los modelos, es la que hace referencia si las características del personal involucrado en el problema se presentan de forma *individual "P"* o son catalogadas por la *categoría "C"* a la que pertenece el personal. Y por último a la identificación del modelo se le concede otra letra adicional en caso de que se considere la característica del trabajo continuo, añadiendo una *"R" (rango)* cuando la asignación de una tarea este comprendido entre un mínimo y un máximo de intervalos continuos, o bien una *"I"* cuando se trate de un problema en el que las tareas han de ser asignadas por *bloques* de intervalos.

Los tipos de modelos se presentan en la tabla 7.1, donde se hace la clasificación e identificación correspondiente de los diversos problemas, ya que a lo largo de la tesis son referidos utilizando estas siglas.

	Asignación		Reasignación/Concatenación	
	Individual	Categoría	Individual	Categoría
Básico	<i>BP</i>	<i>BC</i>	<i>RP/AP</i>	<i>RC/AC</i>
Rango	<i>BPR</i>	<i>BCR</i>	<i>RPR/APR</i>	<i>RCR/ACR</i>
Bloque (intervalos)	<i>BPI</i>	<i>BCI</i>	<i>RPIAPI</i>	<i>RCI/ACI</i>

Tabla 7.1. Identificación de los modelos

En el presente capítulo se presenta la nomenclatura utilizada para identificar los parámetros y variables involucrados en los modelos. Se incluye los dos tipos de problemas, la asignación del personal al inicio de un horizonte de planificación, y la reasignación de personal a lo largo del horizonte, así como la adaptación del modelo de reasignación para utilizarlo en problemas de concatenación.

Contiene también la adaptación de las funciones objetivo necesarias para llevar a cabo una combinación de los criterios de evaluación de la asignación y por supuesto la estructura del modelo multicriterio para los modelos mencionados anteriormente.

7.1. Modelo asignación

7.1.1 Parámetros básicos del modelo

7.1.1.1 Índices

Los índices utilizados en el modelado son:

p	Para las personas . ($p=1\dots P$)
c	Para las categorías. ($c=1\dots C$)
h	Para intervalos. ($h=1\dots H$)
t	Para las tareas. ($t=1\dots T$)

7.1.1.2 Datos y parámetros básicos

En este apartado se presentan los parámetros básicos a considerar, el resto se irán describiendo conforme se vayan incluyendo en las diferentes variables o funciones. El último apartado de este capítulo (7.5) recoge la nomenclatura y terminología utilizada a lo largo del capítulo.

P	Número total de personas	
C	Número total de categorías	
H	Número de intervalos que comprende el horizonte de asignación.	
T	Número total de tipos de tareas	
Pc_p	Categoría a la que pertenece la persona p .	$[1, C]$

7.1.2 Variables

Las variables que se presentan en este apartado corresponden al modelo básico, las cuales se exhiben a continuación ordenadas conforme a dos directrices generales:

- ⇒ Las variables asociadas al trabajo que está realizando cada una de las personas.
- ⇒ Las relacionadas directamente con la cobertura de la demanda de las tareas.

7.1.2.1 Variables asociadas al personal

Una primera variable básica y a partir de la cual se definen otras variables es:

X_{pth} Variable binaria que toma valor de 1 si la persona $p(\forall p)$ ha sido asignada a tarea $t(\forall t)$ en el intervalo $h(\forall h)$, y 0 en caso contrario. $\{0,1\}$.

Dado:

$N = [n_t]$ Vector que indica la naturaleza de la tarea, es decir el nivel de capacidad necesaria para realizar la tarea $t(\forall t)$. Los valores que puede tomar están comprendidos entre 0 a 1, donde 1 representa que se requiere de toda la capacidad de personal para desarrollar la tarea t si esta es asignada.

Se puede determinar el valor de la variable siguiente:

XI_{ph} Indica la carga de trabajo equivalente asignada a cada persona $p(\forall p)$ en cada intervalo de tiempo $h(\forall h)$. Se calcula $XI_{ph} = \sum_{t=1}^T X_{pth} \cdot n_t \forall p; \forall h$ y puede tomar valores $[0,1]$.

Como se ha mencionado en el capítulo anterior se considera la situación que durante todo el horizonte de asignación no se tenga una presencia continua del personal, por lo que se ha de indicar cuando se tiene al personal disponible para ser asignando, por lo tanto se ha de tener el dato siguiente:

$PS = [ps_{ph}]$ Matriz binaria que indica si la persona $p(\forall p)$ está presente o ausente en cada intervalo $h(\forall h)$. $\sum_{p=1}^P ps_{ph} \leq P$

El conocer la presencia del personal a lo largo de horizonte de asignación, nos permite definir la siguiente variable de proporción, que puede tomar un valor comprendido entre $[0,1]$ y es:

XIT_{pt} Valor de proporción de tiempo dedicado por la persona $p(\forall p)$ a la tarea $t(\forall t)$ en el horizonte H .

$$XIT_{pt} = \left(\sum_{h=1}^H X_{pth} \right) / \left(\sum_{h=1}^H PS_{ph} \right) \forall p; \forall t$$

Partiendo de las variables antes definidas, se calculan otras variables adicionales:

- XIT'_{ph} Valor de proporción de tiempo no dedicado por la persona $p(\forall p)$ a la tarea $t(\forall t)$ a lo largo de H , la cual puede tomar valores entre $[0,1]$ y se define empleando $XIT'_{pt} = 1 - XIT_{pt}$
- YI_{ph} Proporción de capacidad de la persona $p(\forall p)$ no utilizada en el intervalo $h(\forall h)$. $YI_{ph} = 1 - XI_{ph} \quad \forall p | ps_{ph} = 1; \forall h$ donde su valor es de $[0,1]$.
- XE_{cth} Cantidad de personal de cada categoría c asignado a la tarea $t(\forall t)$ en el intervalo $h(\forall h)$. $XE_{cth} = \sum_{Pc_p=c} X_{pth} \quad \forall p; \forall t; \forall h$ y por tanto el valor esta comprendido $[0, P]$.

Y por último se define una variable auxiliar:

- M_{pth} Variable auxiliar binaria $\{0,1\}$, que adopta valor de 1 si la persona p ha empezado a realizar la tarea $t(\forall t)$ en el intervalo $h(\forall h)$ y 0 en caso contrario.
- $$M_{pth} \geq X_{pth} - X_{pt(h-1)} \quad \forall h \in 2 \dots H; \forall p; \forall t$$
- $$M_{pth} \leq 1 - X_{pt(h-1)} \quad \forall h \in 2 \dots H; \forall p; \forall t$$
- $$M_{pth} \leq X_{pth} \quad \forall h \in 2 \dots H; \forall p; \forall t$$

7.1.2.2 Variables asociadas a la cobertura de la demanda de las tareas

Definidas ya las variables de asignación del personal p en cada uno de los intervalos h en que está presente (X_{pth}) se describen a continuación las variables, que se refieren a los requerimientos de las tareas.

Un primer dato necesario para determinar como se cubren las necesidades de las tareas es el siguiente:

- $R = [r_{pt}]$ Matriz que indica las tareas ($\forall t$) que puede realizar cada persona ($\forall p$). Para el caso de rendimiento uniforme los valores

serán binarios, dando un valor de 1 si la persona p puede realizar la tarea t y 0 en caso contrario. Para el caso en que se tiene rendimiento no uniforme, el rendimiento de la persona p para la tarea t ha de tener un valor entre 0 y 1, donde 1 es el máximo rendimiento. Se tiene que tener personal capacitado para realizar las diversas $\sum_{t=1}^T r_{pt} > 0$ y al menos cada persona debe tener la capacidad para realizar una tarea $\sum_{p=1}^P r_{pt} > 0$

$R' = [r'_{ct}]$ Matriz que indica las tareas ($\forall t$) que puede realizar cada categoría ($\forall c$). Para el caso de rendimiento uniforme los valores serán binarios, dando un valor de 1 si el personal de la categoría c puede realizar la tarea t y 0 en caso contrario. Para el caso en que se tiene rendimiento no uniforme, el rendimiento del personal de la categoría c para la tarea t ha de tomar un valor entre 0 y 1, donde 1 es el máximo rendimiento. Donde cada tarea al menos deber ser capaz de realizarse por el personal de una categoría $\sum_{t=1}^T r'_{ct} > 0$ y también cada categoría debe tener capacidad para llevar a cabo una tarea $\sum_{c=1}^C r'_{ct} > 0$.

Se define la variable:

X'_{th} Nos indica la cantidad total de personal equivalente asignado a realizar la tarea $t(\forall t)$ en el instante $h(\forall h)$ y puede tomar un valor $[0, P]$ y se determina con la ecuación $X'_{th} = \sum_{\forall p \in P=1} X_{pth} \cdot r_{pt}$.

Otro dato para la determinación de cómo se satisfacen las tareas es:

$D = [d_{th}]$ Matriz de capacidad necesaria para la tarea $t(\forall t)$ en el intervalo $h(\forall h)$.

Además otro de los datos que puede alterar las condiciones iniciales del problema, es la naturaleza de las tareas representado por: $N = [n_t]$, el cual fue ya descrito en el apartado 7.1.2.1.

Se define otro parámetro con la combinación $D = [d_{th}]$ y $N = [n_t]$:

$D' = [d'_{th}]$ Matriz de demanda de capacidad equivalente necesario en la tarea t ($\forall t$) en el intervalo h ($\forall h$). El cual es definido en base a la cantidad de personal necesario en la tarea t y la naturaleza de dicha tarea. $d'_{th} = d_{th} \cdot n_t$

Teniendo el dato de la demanda equivalente de las tareas se permite definir las variables:

d_{th}^+ , d_{th}^- Exceso y escasez de capacidad asignada a la tarea t en el intervalo h . $X'_{pth} - d_{th}^+ + d_{th}^- = d'_{th} \quad \forall p; \forall t; \forall h$, donde puede tomar un valor $[0, \infty]$

7.1.3 Restricciones para los casos BP (básico individualizado y BC (básico por categoría)

$XI_{ph} \leq 1 \quad \forall p; \forall h$ Restricción que limita que la cantidad de trabajo asignado a una persona en un intervalo de tiempo, no sobrepase la cantidad máxima que pueda realizar. (1)

$\sum_{t=1}^T X_{pth} \geq PS_{ph} \quad \forall p; \forall h$ Restricción a utilizar, si se desea asegurar que al menos se asigne una tarea al personal p presente en el intervalo h . (2)

Antes de continuar con la descripción de las restricciones, es necesario definir algunos datos adicionales que no han sido especificados en el apartado anterior.

$M = [m_p]$ Vector binario que indica la polivalencia del personal p ($\forall p$). Donde toma un valor de 1 para el caso en que el personal es compatible para asignarle más de una tarea a la vez y de 0 en caso contrario. $\{0,1\}$

$MC = [mc_c]$ Vector binario que indica la polivalencia del personal de la categoría $c(\forall c)$. Donde toma un valor de 1 para el caso en que la categoría sea compatible para asignarle más de una tarea a la vez y de 0 en caso contrario. $\{0,1\}$

$E = [e_{ct}]$ Matriz con la cantidad máxima de personas de cada categoría $c(\forall c)$ que se puede asignar simultáneamente a cada tipo de tarea $t(\forall t)$. $e_{ct} \leq P_c$

$SD = [sd_t]$ Vector de porcentaje que indica el nivel de escasez de personal permitido en la tarea $t(\forall t)$. $[0,1]$

$SD' = [sd'_t]$ Vector de porcentaje que indica el nivel de escasez de personal equivalente permitido en la tarea $t(\forall t)$. $sd'_{th} = sd_t \cdot d'_{th} \forall t; \forall h$

$SE = [se_t]$ Vector de porcentaje que indica el nivel de exceso de personal permitido por tarea $t(\forall t)$. $[0,1]$

$SE' = [se'_t]$ Vector de porcentaje que indica el nivel de escasez de personal equivalente permitido en la tarea $t(\forall t)$. $se'_{th} = se_t \cdot d'_{th} \forall t; \forall h$

$IT = [it_{pt}]$ Matriz de proporción ideal de tiempo de dedicación a lo largo del horizonte de asignación en cada tarea $t(\forall t)$ para la persona $p(\forall p)$. $\sum_{t=1}^T it_{pt} = 1$

$ITC = [itc_{ct}]$ Matriz de proporción ideal de tiempo de dedicación a lo largo del horizonte de asignación en cada tarea $t(\forall t)$ por la categoría $c(\forall c)$. $\sum_{t=1}^T itc_{ct} = 1$

TOL Tolerancia general permitida para alejarse de la proporción ideal de intervalos de dedicación a cada tarea $(\forall t)$. Esta tolerancia no depende de las tareas. $[0,1]$

Con los últimos datos $IT = [it_{pt}]$, $ITC = [itc_{ct}]$ y TOL se definen los parámetros:

$IT^{\min} = [it_{pt}^{\min}]$ Matriz de proporción mínima de tiempo que una persona p ha de dedicar a una tarea t a lo largo del horizonte de asignación. $it_{pt}^{\min} = it_{pt} \cdot (1 - tol) \forall p; \forall t$ con valor $[0,1]$. Para el caso de

categorías se sustituye $it_{pt}^{\min} = itc_{ct}^{\min} | Pc_p = c \forall p$

$IT^{\max} = [it_{pt}^{\max}]$ Matriz de proporción máxima de tiempo que una persona p ha de dedicar a una tarea t a lo largo del horizonte de asignación. $it_{pt}^{\max} = it_{pt} \cdot (1 + tol) \forall p; \forall t$ con valor $[0,1]$ y categorías se emplea $it_{pt}^{\max} = itc_{ct}^{\max} | Pc_p = c \forall p$

$ITC^{\min} = [itc_{ct}^{\min}]$ Matriz de proporción mínima de tiempo que una persona de la categoría c ha de dedicar a una tarea t a lo largo del horizonte. $itc_{ct}^{\min} = itc_{ct} \cdot (1 - tol) \forall p; \forall t$ con valor $[0,1]$

$ITC^{\max} = [itc_{ct}^{\max}]$ Matriz de proporción máxima de tiempo que una persona de la categoría c ha de dedicar a una tarea t a lo largo del horizonte de asignación. $itc_{ct}^{\max} = itc_{ct} \cdot (1 + tol) \forall p; \forall t [0,1]$

Las demás restricciones para BP y BC son:

$$\sum_{t=1}^T X_{pth} = 1 \quad \forall p | m_p = 0 ; \forall h \quad \text{Restricción que asigna sólo una tarea al personal incompatible} \quad (3)$$

$$XE_{ct} \leq e_{ct} \quad \forall c; \forall t; \forall h \quad \text{Restricción que limita que la cantidad de personal asignado de cada categoría a cada una de las tareas, respete la cantidad máxima permitida.} \quad (4)$$

$$X'_{th} \leq [d'_{th} (1 + se_t)] \quad \forall t; \forall h \quad \text{Restricción que controla que la cantidad de capacidad, asignada a cada tarea, sea inferior a un cierto valor límite.} \quad (5)$$

$$X'_{th} \geq [d'_{th} (1 - sd_t)] \quad \forall t; \forall h \quad \text{Restricción que controla que la cantidad de capacidad, asignada a cada tarea, sea superior a un cierto valor límite.} \quad (6)$$

$$it_{pt}^{\min} \leq XIT_{pt} \leq it_{pt}^{\max} \quad \forall p; \forall t \quad \text{Restricciones que limita que la proporción de tiempo dedicado a cada tarea esté dentro del rango de proporción de tiempo permitido.} \quad (7)$$

7.1.3.1 Restricciones asociadas a los intervalos continuos de asignación

Las restricciones que se presentan en este apartado corresponden a la asignación en que se limita los intervalos continuos que las personas han de realizar una determinada tarea, ya sea el caso en que los intervalos están comprendidos en un rango o bien cuando se ha de asignar un número ideal de intervalos continuos.

7.1.3.1.1 Restricción para los casos BPR (*básico individualizado por rango*) y BCR (*básico por categorías y rango*)

Este apartado enlista las restricciones que hacen que la asignación se realice respetando un número de intervalos continuos comprendidos entre un rango mínimo y máximo.

Datos:

$LMIN = [l \min_t]$ Vector que indica los intervalos consecutivos mínimos que se ha de realizar la misma tarea $t(\forall t)$. $[0, H]$

$LMAX = [l \max_t]$ Vector que indica los intervalos consecutivos máximos que se ha de realizar la misma tarea $t(\forall t)$. $[0, H]$

Estos datos se emplean directamente en las restricciones siguientes:

$$X_{pt1} \cdot l \min_t \leq \sum_{h=1}^{l \min_t} X_{pth} \quad h = 1; \forall p; \forall t$$
 Restricción aplicable al primer intervalo de tiempo, que asegura que si ha sido asignada la persona p a la tarea t , permanezca en esta misma tarea por lo menos el mínimo de intervalos continuos. (8)

$$M_{pth} \cdot l \min_t \leq \sum_{j=h}^{j=\min(h+l \min_t, -1, H)} X_{ptj} \quad \forall h \in 2 \dots H; \forall p; \forall t$$
 Restricción aplicable a partir del segundo intervalo de tiempo, la cual asegura que una vez asignada la tarea t a la (9)

persona p , la realice el mínimo de intervalos continuos.

$$\sum_{j=h-l_{\max_{pt}}}^{j=h} X_{ptj} \leq l_{\max_{pt}} \quad \forall h \in (l_{\max_{pt}} + 1 \dots H) \quad \forall p; \forall t$$

Restricción que asegura que la persona p permanece en la tarea t una cantidad de intervalos máximos. (10)

7.1.3.1.2 Restricción para el caso BPI (básico individualizado por bloques) y BCI (básico por categoría y bloques)

Las restricciones correspondientes a este apartado son adicionadas para restringir que la asignación respete la condicionante de una vez asignada la tarea, que tenga una permanencia continua exacta en la tarea el personal asignado.

Se requiere el dato de partida:

$IE = [ie_t]$ Vector de intervalos consecutivos deseados que se ha de realizar la tarea t ($\forall t$) una vez asignada antes de pasar a otra tarea.

$$X_{pt1} \cdot ie_t \leq \sum_{h=1}^{h=ie_t} X_{pth} \quad \forall h = 1; \forall p; \forall t$$

Restricción aplicable al primer intervalo de tiempo, la cual asegura que si ha sido asignada la persona p a la tarea t , permanezca realizando esta misma tarea hasta alcanzar los intervalos continuos necesarios. (11)

$$M_{pth} \cdot ie_t \leq \sum_{j=h}^{j=\min(h+ie_t-1, H)} X_{ptj} \quad \forall h \in 2 \dots H; \forall p; \forall t$$

Restricción aplicable a partir del segundo intervalo de tiempo, la cual asegura que una vez asignada la tarea t a la persona p , la realice un número de intervalos continuos exactos. (12)

$$\sum_{j=h-ie_t}^{j=h} X_{ptj} \leq ie_t \quad \forall h \in (ie_t + 1 \dots H); \quad \forall p; \forall t$$

Restricción que asegura que la persona p permanece en la tarea t una cantidad de intervalos continuos exactos. (13)

7.1.3.2 Restricción asociada a la satisfacción exacta de la demanda

Cuando se quiere garantizar que se la asignación del personal satisfaga exactamente la demanda de las tareas, se añade la siguiente restricción:

$$\sum_{p=1}^p X'_{pth} = d'_{th} \quad \forall t; \forall h$$

Restricción que garantiza que la asignación de personal a la tarea t en el intervalo h satisfaga exactamente su demanda (14)

Hay que tener en cuenta que los criterios expresados por la función (16) y (20), basan su evaluación en las diferencias que se dan entre la capacidad asignada a las tareas y la capacidad que demandan. Por lo tanto, cuando se desea incluir esta restricción (14) en la búsqueda de la asignación óptima de tareas, estos criterios (16) y (20) quedan anulados.

7.1.3.3 Restricción asociada a los intervalos totales de dedicación

La restricción se incorpora cuando se desea que se cumpla la proporción ideal de tiempo que ha de dedicar el personal a las tareas, a lo largo del horizonte de asignación.

$$X_{pth} \leq 1 + (it_{pt} - XIT_{pth}) \quad \forall p; \forall t; \forall h$$

Esta restricción garantiza que no se asigne la persona p a la tarea t cuando ya se llegó al número de intervalos necesarios para lograr la proporción ideal de intervalos que debe realizar cada una de las tareas a lo largo del horizonte. (15)

Cuando esta restricción (15) se incorpore a la búsqueda de la asignación óptima de las tareas, los criterios de evaluación expresados por las funciones (18) y (7) quedan invalidados; ya que estos criterios utilizan la diferencia de la proporción ideal de tiempo que se ha de dedicar el persona las tareas, como un parámetro para la evaluación de la asignación de tareas.

La tesis se centra en el problema de asignación, de acuerdo a los criterios de evaluación que se han presentando en el capítulo anterior. La evaluación se realiza buscando la solución óptima basada en las funciones que se presentan a continuación.

7.1.4 Funciones objetivo para el modelo básico de asignación

Aquí se describe cada una de las funciones objetivo de manera independiente, donde se exponen las funciones para el caso en que las características están dadas para el personal de manera individual (*BP*) y para el caso en que las características están ligadas a las categorías (*BC*). Recordar que en el apartado 7.5 se presenta un listado con la nomenclatura y terminología implicada en la funciones.

7.1.4.1 Funciones objetivo para el caso BP (*básico individualizado*)

La formalización de este modelo se refiere al tipo de asignación básica donde las características están dadas de forma individual al personal.

Es necesario definir un parámetro más, hasta el momento no descrito:

$PT = [pt_t]$ Vector que indica la prioridad de satisfacción de la tarea t ($\forall t$). Es decir cuando no se tiene la capacidad de satisfacer la demanda de todas las tareas, indica cual de ellas ha de ser cubierta primero, o bien a cual se recomienda asignar más personal. $\sum_{t=1}^T pt_t = 1$.

Con el que se formaliza una de las funciones objetivo, la cual consiste en:

$\min Z = \sum_{h=1}^H \sum_{t=1}^T [pt_t \cdot d_{th}^-]$ Función que busca la solución óptima que minimice la ponderación de la insatisfacción de las tareas, de acuerdo a una prioridad de satisfacción previamente establecida. (16)

Otro dato necesario para la búsqueda de la asignación óptima aplicando el modelo propuesto es:

$CP = [cp_p]$ Vector que indica la prioridad de cada persona $p(\forall p)$ respecto al conjunto del personal P. $[0, \infty]$

Y permite definir la función de evaluación:

$\min Z = \sum_{p=1}^P \sum_{h=1}^H [(YI_{ph}) \cdot (CP_p)]$ Función que busca la solución óptima, que asigne el personal que dispone acorde al índice de prioridad del personal. (17)

De acuerdo al parámetro it_{pt} y a la variable antes definida XIT_{pt} se calcula dos variables más:

XIT_{pt}^+ Valor de la proporción del tiempo, que la persona p dedica por encima de la proporción del tiempo ideal de dedicación a la tarea t . $XIT_{pt}^+ - it_{pt} = XIT_{pt}^+ - XIT_{pt}^- \quad \forall p; \forall t; \forall h$ teniendo un valor $[0,1]$.

XIT_{pt}^- Valor de la proporción del tiempo, que la persona p dedica por debajo de la proporción del tiempo ideal de dedicación a la tarea t . $XIT_{pt}^- - it_{pt} = XIT_{pt}^+ - XIT_{pt}^- \quad \forall p; \forall t; \forall h$ comprendido su valor $[0,1]$.

Las dos variables definidas están contenidas en una tercera función objetivo:

$\min Z = \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T [XIT_{pt}^+ + XIT_{pt}^-]$ Función que busca la solución óptima basada en la mínima discrepancia entre el porcentaje de intervalos en que una persona realiza una tarea a lo largo del horizonte de planificación y el porcentaje de tiempo ideal que ha de realizar dicha tarea en el horizonte de planificación. (18)

Además de emplear la variable XIT_{pt} para definir las variables utilizadas en la función (18), está se aplica directamente en la función objetivo siguiente:

$$\max Z = \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T (r_{pt}) \cdot (XIT_{pt}) \quad \text{Función que busca la solución óptima basada en la máxima utilización del personal en la tarea para la que tenga el mejor rendimiento.} \quad (19)$$

Al igual que la función (16), la que se describe a continuación se basa en la satisfacción de las tareas y se describe como:

$$\min Z = \sum_{t=1}^T \sum_{h=1}^H [d_{th}^+ + d_{th}^-] \quad \text{Función que busca la solución óptima basada en la mínima discrepancia entre capacidad asignada y la necesaria en cada tarea.} \quad (20)$$

Por último en este apartado para la formalización de las funciones objetivos para el caso *BI* se requiere del dato:

$$PP = [pp_{pt}] \quad \text{Matriz de preferencia que indica la proporción de tiempo que la persona } p \text{ } (\forall p) \text{ desearía trabajar en cada tarea } t \text{ } (\forall t).$$

$$\sum_{t=1}^T pp_{pt} = 1$$

El cual es utilizado en la definición de la última función objetivo que propone el modelo:

$$\max Z = \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T pp_{pt} \cdot XIT_{pt} \quad \text{Función que busca la solución óptima que maximice la preferencia del personal en la ejecución de las tareas.} \quad (21)$$

7.1.4.2 Funciones objetivo para el caso BC (básico por categoría)

Las funciones objetivo del modelo de tipo *BC* difieren de las funciones objetivo definidas para el caso *BP*, como fue mencionada al inicio del capítulo, en que para este modelo los datos y parámetros están definidos para las diferentes categorías a la que pertenece el personal. Por lo que las funciones (16) y (20) se mantienen iguales para este caso (*BC*), la funciones (18) y (21) no son aplicables a este tipo de modelo, y solo se modifican de las funciones (17) y (19). Además se define un dato adicional necesario:

$CO = [co_c]$ Vector de prioridad del personal de cada categoría $c (\forall c)$ respecto a las otras categorías. $[0, \infty]$

Las funciones (17) y (19) modificadas para aplicar al caso BC quedan de la siguiente manera:

$$\min Z = \sum_{h=1}^H \sum_{c=1}^C \left(CO_c \cdot \sum_{p=1|P_{c_p}=c}^P YI_{ph} \right)$$
 Función que busca la solución óptima, que asigne el personal que dispone acorde al índice de prioridad. (22)

$$\max Z = \sum_{t=1}^T \sum_{c=1}^C \left(r'_{ct} \cdot \sum_{p=1|P_{c_p}=c}^P XIT_{pt} \right)$$
 Función que busca la solución óptima basada en la máxima utilización del personal en la tarea para la que tenga el mejor rendimiento. (23)

7.2. Modelo de Reasignación / Concatenación

El modelo identificado como de reasignación hace referencia al modelo aplicado a los casos en que, una vez hecha la asignación de tareas para un horizonte de asignación determinado, en alguno de los intervalos que lo componen, surgen cambios y es necesario llevar a cabo una nueva asignación de tareas para los intervalos de tiempo que restan del horizonte de asignación previamente determinando. Donde por lo tanto, la reasignación de tareas para los intervalos de tiempo requeridos, considera lo realizado en los intervalos ya transcurridos del horizonte de asignación.

Por otro lado el modelo de concatenación es aplicado a los casos en que la asignación de tareas para un nuevo horizonte de asignación, se afecta por lo realizado en intervalos anteriores. Por lo tanto este modelo lleva a cabo la asignación considerando un historial de asignación previa, de forma similar al caso de reasignación, pero donde el horizonte de asignación aumenta.

Para facilitar la utilización de los modelos de reasignación y concatenación, se ha modelizando por separado cada uno de ellos. Definiendo variables específicas para cada caso, aunque los dos modelos son matemáticamente equivalentes, la diferencia es el horizonte de asignación considerado en cada modelo.

7.2.1 Datos y parámetros adicionales para los modelos de reasignación/ concatenación

Además de los parámetros listados en el apartado de asignación se han de agregar los parámetros que se describen en este apartado para formalizar el modelo del problema de reasignación que se aborda en esta tesis doctoral, los cuales son:

- ha Cantidad de intervalos que han sido asignados hasta el momento en que se realiza la reasignación. $(1...ha)$
- hc Cantidad de intervalos que han sido asignados hasta el momento en que se realiza concatenación. $(1...hc)$
- H^A Número total de intervalos concatenados. $H^A = ha + hc$
- X_{pth}^a Matriz binaria que toma valor de 1 cuando el personal p esta asignado a la tarea t en el intervalo h y toma valor de 0 en caso contrario. $\{0,1\}$. Para reasignación $\forall p; \forall t; \forall h \in 1...ha$ y para concatenación $\forall p; \forall t; \forall h \in 1...hc$
- $aPS = [aps_{ph}]$ Matriz binaria que indica los intervalos en que el personal esta presente, dando valor de 1 cuando esta presente el personal p en el intervalo h y 0 en caso contrario. $[0,\infty]$. Donde para reasignación es $\forall p; \forall h \in 1...ha$ y para concatenación $\forall p; \forall h \in 1...hc$

7.2.2 Variables para los casos de reasignación/concatenación

Para llevar a cabo la reasignación, así como la concatenación es necesario hacer la adaptación de algunas de las variables básicas descritas en el apartado de asignación. La modificación de dichas variables se da primordialmente respecto al valor que toma el parámetro h . En la tabla 7.2 que aparece a continuación se listan las variables que son transformadas para utilizarlas en los casos de reasignación y concatenación; identificando su equivalencia respecto a la variable empleada en los casos de asignación.

Asignación	Reasignación	Concatenación
X_{pth}	$h = (ha + 1 \dots H)$	$h = (hc + 1 \dots H^A)$
XI_{ph}		
X'_{th}		
XE_{cth}		
d_{th}^+		
d_{th}^-		
YI_{ph}		
YSS_t		
YNS_t		
M_{pth}		
	X_{pth}^r	X_{pth}^u
	XI_{ph}^r	XI_{ph}^u
	$X'_{th}{}^r$	$X'_{th}{}^u$
	XE_{cth}^r	XE_{cth}^u
	d_{th}^{r+}	d_{th}^{u+}
	d_{th}^{r-}	d_{th}^{u-}
	YI_{ph}^r	YI_{ph}^u
	YSS_t^r	YSS_t^u
	YNS_t^r	YNS_t^u
	M_{pth}^r	M_{pth}^u

Tabla 7.2 Equivalencia de las variables de reasignación y concatenación con las variables de asignación.

Dependiendo del valor del parámetro h , es la ecuación que se emplea para determinar el valor de la variable auxiliar M_{pth}^r . Donde para $h = ha + 1$ se determina aplicando las ecuaciones $M_{pth}^r \geq X_{pth}^r - X_{pt(h-1)}^a$, $M_{pth}^r \leq 1 - X_{pt(h-1)}^a$, $M_{pth}^r \leq X_{pth}^r$; y para $h = (ha + 2 \dots H)$ se emplea $M_{pth}^r \geq X_{pth}^r - X_{pt(h-1)}^r$, $M_{pth}^r \leq 1 - X_{pt(h-1)}^r$ y también la ecuación $M_{pth}^r \leq X_{pth}^r$. De igual manera para determinar el valor de la variable auxiliar M_{pth}^u en los casos de concatenación, se tiene dos ecuaciones que han de aplicarse dependiendo del valor que corresponde a h , donde para $h = hc + 1$ se utiliza $M_{pth}^u \geq X_{pth}^u - X_{pt(h-1)}^a$, $M_{pth}^u \leq 1 - X_{pt(h-1)}^a$, $M_{pth}^u \leq X_{pth}^u$; y para $h = (hc + 2 \dots H^A)$ se emplea $M_{pth}^u \geq X_{pth}^u - X_{pt(h-1)}^u$, $M_{pth}^u \leq 1 - X_{pt(h-1)}^u$ y $M_{pth}^u \leq X_{pth}^u$.

Además de la adaptación de algunas de las variables descritas en la tabla 7.2, la determinación del valor de la variable XIT_{pt} se ve afectada al emplearla en los casos de reasignación y concatenación. Donde para los casos de reasignación se ha de determinar el valor de esta variable utilizando la ecuación $XIT_{pt} = \left(\sum_{h=1}^{ha} X_{pth}^a + \sum_{h=ha+1}^H X_{pth}^r \right) / \left(\sum_{h=1}^H PS_{ph} \right)$, y por otro lado cuando se presenta en una concatenación, se ha de usar $XIT_{pt} = \left(\sum_{h=1}^{hc} X_{pth}^a + \sum_{h=hc+1}^{H^A} X_{pth}^u \right) / \left(\sum_{h=1}^{H^A} PS_{ph} \right)$ para el cálculo de dicha variable.

7.2.3 Restricciones para los casos RP (*reasignación individualizada*) y RC (*reasignación por categoría*)

Como consecuencia del cambio hecho en algunas de las variables para poder emplearlas en el caso de reasignación, así como de concatenación según corresponda, también algunas restricciones han sufrido adaptaciones en lo referente a las variables que involucran. En la tabla 7.3 se listan las restricciones aplicables al caso de reasignación y concatenación que han sido adaptadas acorde a los parámetros que implican, donde la primera columna hace referencia a que restricción de asignación equivale cada una de ellas. En el apartado 7.1 se puede consultar lo que representa la restricción, que como ya se ha dicho anteriormente la única diferencia es el valor que puede tomar h .

Función de referencia	Reasignación		Concatenación	
(4)	$XE_{cth}^r \leq e_{ct}$	(24)	$XE_{cth}^u \leq e_{ct}$	(30)
(5)	$X_{th}^{r'} \leq [d_{th}^{r'}(1 + se_t)]$	(25)	$X_{th}^{u'} \leq [d_{th}^{u'}(1 + se_t)]$	(31)
(6)	$X_{th}^{r'} \geq [d_{th}^{r'}(1 - sd_t)]$	(26)	$X_{th}^{u'} \geq [d_{th}^{u'}(1 - sd_t)]$	(32)
(1)	$XI_{ph}^r \leq 1$	(27)	$XI_{ph}^u \leq 1$	(33)
(3)	$\sum_{t=1}^T X_{pth}^r = 1$	(28)	$\sum_{t=1}^T X_{pth}^u = 1$	(34)
(2)	$\sum_{t=1}^T X_{pth}^r \geq PS_{ph}$	(29)	$\sum_{t=1}^T X_{pth}^u \geq PS_{ph}$	(35)

Tabla 7.3. Restricciones para reasignación y concatenación.

7.2.3.1 Restricciones asociadas a los intervalos continuos de asignación de las tareas

Las restricciones que se formalizan en este apartado son las que corresponden al control de tiempo en que una persona ha de realizar la misma tarea de forma continua, cuando se lleva a cabo la reasignación del personal, ya sea incluyendo los intervalos continuos comprendidos entre un mínimo y un máximo o bien aquellos casos que requieren un número exacto de intervalos continuos de dedicación a una misma tarea.

7.2.3.1.1 Restricciones para los casos RPR/APR (*reasignación / concatenación individualizada por rango*) y RCR/ACR (*reasignación / concatenación por categoría y rango*)

En este apartado se presentan las restricciones que regulan que la reasignación o en su caso la concatenación se realice respetando un número de intervalos continuos comprendidos entre un mínimo y máximo, por lo que la expresión (9) queda sustituida por (36) y (38) y la (10) por (37) y (39) según sea el caso que se este tratando.

Reasignación:

$$M_{pth}^r \cdot l \min_t \leq \sum_{j=\max(h-l \min_t, 1)}^{j=h} X_{ptj}^r \quad \forall h \in ha+1 \dots H; \forall p; \forall t \quad (36)$$

$$\sum_{j=\max(h-l \max_{pt}, 1)}^{j=h} X_{ptj}^r \leq l \max_{pt} \quad \forall h \in ha+1 \dots H; \forall p; \forall t \quad (37)$$

Concatenación:

$$M_{pth}^u \cdot l \min_t \leq \sum_{j=\max(h-l \min_t, 1)}^{j=h} X_{ptj}^u \quad \forall h \in hc+1 \dots H^A; \forall p; \forall t \quad (38)$$

$$\sum_{j=\max(h-l \max_{pt}, 1)}^{j=h} X_{ptj}^u \leq l \max_{pt} \quad \forall h \in hc+1 \dots H^A; \forall p; \forall t \quad (39)$$

7.2.3.1.2 Restricciones para los casos RPI/API (*reasignación / concatenación individualizada por bloques*) y RCI/ACI (*reasignación / concatenación por categorías y bloques*)

Las restricciones en este apartado son las que condicionan que la reasignación o bien la concatenación se realice respetando que el personal sea asignado a una misma tarea un número de intervalos continuos determinados, por lo que las restricciones (12) y (13) para el caso de reasignación quedan adaptadas de la siguiente forma:

$$M_{pth}^r \cdot i e_t \leq \sum_{j=\max(h-i e_t, 1)}^{j=h} X_{ptj}^r \quad \forall h \in ha+1 \dots H; \forall p; \forall t \quad (40)$$

$$\sum_{j=\max(h-i e_t, 1)}^{j=h} X_{ptj}^r \leq i e_t \quad \forall h \in ha+1 \dots H; \forall p; \forall t \quad (41)$$

Y por consiguiente cuando se trate de un caso de concatenación se consideran:

$$M_{pth}^u \cdot ie_t \leq \sum_{j=\max(h-ie_t, 1)}^{j=h} X_{pj}^u \quad \forall h \in hc+1 \dots H^A; \forall p; \forall t \quad (42)$$

$$\sum_{j=\max(h-ie_t, 1)}^{j=h} X_{pj}^u \leq ie_t \quad \forall h \in hc+1 \dots H^A; \forall p; \forall t \quad (43)$$

7.2.3.2 Restricción asociada a la satisfacción exacta de la demanda

La restricción (14) se transforma para poder incorporarse cuando se tiene un caso de reasignación o concatenación, donde como se describió, restringe la asignación de personal respete la satisfacción exacta de la demanda de cada una de las tareas en cada intervalo que se reasigna o concatena. Hay que tener en cuenta que cuando se incluye esta restricción la búsqueda de solución óptima basada en la función (48) y (50), pierden todo interés para el caso de reasignación y para concatenación la función (49) y (51).

Reasignación:

$$\sum_{p=1}^P X_{pth}^r = d_{th}^r \quad \forall h \in ha+1 \dots H; \forall p; \forall t \quad (44)$$

Concatenación:

$$\sum_{p=1}^P X_{pth}^u = d_{th}^u \quad \forall h \in hc+1 \dots H^A; \forall p; \forall t \quad (45)$$

7.2.3.3 Restricción asociada a los intervalos de dedicación

En este apartado se presenta la conversión de la restricción (15), para formalizar su utilización como restricción cuando se desea que al realizar la reasignación o concatenación se respete también la proporción ideal de tiempo que ha de dedicar el personal a las tareas a lo largo del horizonte de planificación considerando los intervalos ya asignados antes de hacer la reasignación. Cuando la restricción (46) se incorpore (en reasignación) y (47) (en concatenación) las restricciones (7) y la función objetivo (18) dejan de tener importancia.

$$X_{pth}^r \leq 1 + (it_{pt} - XIT_{pth}) \quad \forall p; \forall t; \forall h \in ha+1 \dots H \quad (46)$$

$$X_{pth}^u \leq 1 + (it_{pt} - XIT_{pth}) \quad \forall p; \forall t; \forall h \in hc+1 \dots H^A \quad (47)$$

7.2.4 Funciones objetivo para los casos RP (reasignación individualizado)/AP (concatenación individualizada)

El caso tipo RP/AP se refiere a los problemas donde las características del personal son dadas de forma individual. Donde los criterios de evaluación que conforman las funciones (18), (19) y (21) y que se listan en el apartado 7.1.4 quedan expresados en la misma forma para este caso de reasignación/concatenación, pero las expresiones (1), (2) y (5) se han de adaptar para que puedan expresar los diferentes criterios de evaluación, para la búsqueda de una solución para el caso de reasignación o concatenación teniendo en cuenta una asignación previa, además que los parámetros y variables que involucran estas funciones ya se han ido definiendo a lo largo del capítulo. Por lo que el criterio contenido en la expresión (1), para vincularlo a un problema de reasignación queda expresado de la siguiente forma:

$$\min Z = \sum_{h=hc+1}^H \sum_{t=1}^T [pt_t \cdot d_{th}^{r-}] \quad (48)$$

Y para expresar este mismo criterio de evaluación en el caso de que sea un problema de concatenación se presenta de la siguiente manera:

$$\min Z = \sum_{h=hc+1}^{H^A} \sum_{t=1}^T [pt_t \cdot d_{th}^{u-}] \quad (49)$$

En referencia al criterio que busca la prioridad de utilización del personal, el cual corresponde a la expresión (2) para el caso de asignación, para la reasignación dicha función queda transformada de la siguiente forma:

$$\min Z = \sum_{p=1}^P \sum_{h=hc+1}^H [(YI_{ph}^r) \cdot (CP_p)] \quad (50)$$

Además para el caso de concatenación el criterio se expresa en la función que se muestra a continuación.

$$\min Z = \sum_{p=1}^P \sum_{h=hc+1}^{H^A} [(YI_{ph}^u) \cdot (CP_p)] \quad (51)$$

Por último la expresión (20) que se modifica para estos casos, quedan expresadas en la identificada con el número (52) para los casos de reasignación y con (53) cuando se trate de un caso de concatenación.

$$\min Z = \sum_{t=1}^T \sum_{h=ha+1}^H [d_{th}^{r+} + d_{th}^{r-}] \quad (52)$$

$$\min Z = \sum_{t=1}^T \sum_{h=hc+1}^{H^A} [d_{th}^{u+} + d_{th}^{u-}] \quad (53)$$

7.2.5 Funciones objetivo para los casos RC (reasignación por categoría)/AC (concatenación por categoría)

El caso tipo RC/AC se refiere al problema de reasignación/concatenación en el cual las características del personal están definidas por la categoría a la cual pertenece el personal. Las funciones de los criterios de evaluación para el problema de reasignación (48), (18), (23), (52) y (21) y para concatenación (49), (18), (23), (53) y (21) expresadas en apartado anteriores de esta capítulo, quedan de igual orden formalizadas, únicamente la función (19) ha de ser adaptada para la reasignación quedando de la siguiente forma:

$$\min Z = \sum_{h=ha+1}^H \sum_{c=1}^C \left(CO_c \cdot \sum_{p=1|Pc_p \in c}^P YI_{ph}^r \right) \quad (54)$$

Y para el caso de concatenación la adaptación queda expresada:

$$\min Z = \sum_{h=hc+1}^{H^A} \sum_{c=1}^C \left(CO_c \cdot \sum_{p=1|Pc_p \in c}^P YI_{ph}^u \right) \quad (55)$$

7.3. Modelo multicriterio

Como se ha expuesto en los apartados anteriores de este capítulo, la tesis doctoral que se presenta, considera seis criterios de evaluación para encontrar la asignación óptima del personal. Como se ha expuesto anteriormente el tipo de evaluación que se ha planteado como objetivo para esta tesis doctoral, es el uso de una evaluación multicriterio que permita reflejar de una forma real la problemática de la asignación de tareas.

Para llevar a cabo la formalización de la asignación multicriterio es necesario primero tener las funciones de criterios de evaluación normalizadas, para que se puedan relacionar entre ellas de una manera compatible, es decir que el rango de valores que se derivan de cada criterio no permita que la solución óptima obtenida favorezca a uno o unos de los criterios que se han de considerar.

A continuación se expone las funciones de los criterios de forma normalizada para ser utilizadas en el modelo multicriterio, seguido por el desarrollo de formalización del modelo multicriterio y la metodología empleada para buscar la solución óptima del problema.

7.3.1 Normalización de funciones

Se presenta en este apartado las funciones de los criterios de evaluación normalizadas que permitan la comparación entre ellas. No todas las funciones requieren cambios en su forma, como es el caso de la función (18), por lo tanto a continuación se presentan las funciones que han sido modificadas en su forma para poder adaptarlas a su utilización en el caso de evaluación multicriterio para los diferentes problemas de asignación y reasignación de tareas.

7.3.1.1 Funciones normalizadas para problemas tipo BP, BPR y BPI

Las funciones de los criterios que han tenido que ser adaptadas para evaluar la problemática del tipo BP, BPR y BPI, se presentan a continuación; donde para conseguir identificarlas, se le ha agregado al número de identificación que le corresponde en su expresión de función normal, la letra "a" para poder distinguirlas ya en su forma adaptada a utilizarla en el caso multicriterio. Como se ha dicho la función (18) queda de igual manera expresada, porque lo que dicha expresión será identificada de la misma manera.

La función objetivo (16) se normaliza sustituyendo el valor de la demanda no satisfecha (d_{th}^-) por una proporción nivel de escasez de capacidad para satisfacer la tarea t en el horizonte H, representada por YNS_t , y se calcula

con la ecuación
$$YNS_t = \frac{\sum_{h=1}^H d_{th}^-}{\sum_{h=1}^H d_{th}'} \quad \forall t \text{ pudiendo ser de un valor } [0,1],$$
 por lo

que la función quede representada por:

$$\min Z = \sum_{t=1}^T [pt_t \cdot YNS_t] \quad (16a)$$

La expresión (17) que representa la función objetivo que evalúa la asignación conforme a la preferencia de utilización de personal, se normaliza considerando no sólo el valor de CP_p de forma independiente, sino que en esta ecuación se divide dicho valor entre la prioridad de máximo valor CP_{\max} para obtener un valor entre [0,1].

$$\min Z = \sum_{p=1}^P \sum_{h=1}^H \left[(YI_{ph}) \cdot \left(\frac{CP_p}{CP_{\max}} \right) \right] \quad (17a)$$

Para normalizar la función (19) se ha recurrido a la sustitución de la variable XIT_{pt} por la variable XIT'_{pt} la cual se obtiene con $XIT'_{pt} = 1 - XIT_{pt}$, esto para convertir el criterio de evaluación expresado en una función de maximización en una de minimización para armonizarla con las demás funciones que se involucran más adelante en la función multicriterio.

$$\min Z = \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T (r_{pt}) \cdot (XIT'_{pt}) \quad (19a)$$

En la función (20) para conseguir normalizarla se ha sustituido la variable d_{th}^+ por YSS_t y la d_{th}^- por YNS_t , las cuales implican que ahora la función objetivo evalúa en base a proporciones. De la misma forma en que fue anteriormente señalado el calculo de la variable YNS_t , se determina el valor de YSS_t , es decir

$$YSS_t = \frac{\sum_{h=1}^H d_{th}^+}{\sum_{h=1}^H d_{th}^-} .$$

Teniendo en cuenta la sustitución de variables la función

queda expresada:

$$\min Z = \sum_{t=1}^T [YSS_t + YNS_t] \quad (20a)$$

Por último la función (21) es normalizada de la misma forma que se hizo para la función (19), es decir la función original de maximización es convertida en

minimización sustituyendo por lo tanto la variable XIT_{pt} por la utilización de la variable XIT'_{pt} , lo que nos da la función objetivo:

$$\min Z = \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T PP_{pt} \cdot XIT'_{pt} \quad (21a)$$

7.3.1.2 Funciones normalizadas para problemas tipo BC, BCR y BCI

Los criterios de evaluación como se ha visto con anterioridad son prácticamente los mismos que los involucrados con la problemática tratada en el apartado 7.3.1.1 las únicas funciones que se ven afectadas son la (17) y (19), las cuales ya han sido identificadas como (22) y (23) respectivamente. Por lo que a continuación se expondrán únicamente estas dos funciones con su adaptación que son las necesarias para complementar las utilizadas en los problemas *BC*, *BCR* y *BCI*.

Para normalizar la función (22) que evalúa la asignación conforme a la preferencia de utilización del personal de las diferentes categorías, se divide el valor de la variable co_c , entre el valor de la variable Co_{max} , la cual representa la prioridad de máximo valor de entre las diferentes categorías.

$$\min Z = \sum_{h=1}^H \sum_{c=1}^C \left(\left(\frac{co_c}{Co_{max}} \right) \cdot \sum_{p=1|Pc_p \in c}^P YI_{ph} \right) \quad (22a)$$

La expresión (23) se normaliza de la misma forma que la función (19), es decir que se sustituye de la expresión la variable XIT_{pt} por la variable XIT'_{pt} , lo que permite convertirla en una función de minimización.

$$\min Z = \sum_{t=1}^T \sum_{c=1}^C \left(r'_{ct} \cdot \sum_{p=1|Pc_p=c}^P XIT'_{pt} \right) \quad (23a)$$

7.3.1.3 Funciones normalizadas para problemas tipo RP/AP, RPR/APR y RPI/API

Para afrontar los problemas de este tipo, las funciones de los criterios que han de ser adaptadas son las funciones expresadas en (48), (50) y (52) para conseguir una similitud de funciones que permite vincularlas en una sola

función multicriterio para el caso de reasignación y la normalización de las funciones (49), (51) y (53) para concatenación.

Para normalizar la función objetivo (48) y (49) se sustituye al igual que se hizo en la función (16a), el valor de la demanda no satisfecha (d_{th}^{r-} ó d_{th}^{u-}) por una proporción de escasez de capacidad de la tarea t en el horizonte H , representada por YNS_t^r o bien YNS_t^u para la función de concatenación (49).

El valor de la variable YNS_t^r se calcula con la ecuación $YNS_t^r = \frac{\sum_{h=ha+1}^H d_{th}^{r-}}{\sum_{h=ha+1}^H d_{th}^{r'}}$

$\forall t$ pudiendo ser de un valor $[0,1]$, y la variable YNS_t^u se obtiene con la

aplicación de la ecuación $YNS_t^u = \frac{\sum_{h=hc+1}^{H^A} d_{th}^{u-}}{\sum_{h=hc+1}^{H^A} d_{th}^{u'}}$. Por lo tanto para la reasignación la función quede expresada:

$$\min Z = \sum_{t=1}^T [pt_t \cdot YNS_t^r] \tag{48a}$$

Y para la concatenación se obtiene la función:

$$\min Z = \sum_{t=1}^T [pt_t \cdot YNS_t^u] \tag{49a}$$

Al igual que sucedió con la función (17a), para normalizar las funciones (50) y (51), se incluye la variable Co_{\max} que representa el valor de máxima priorización del personal y el cual divide el valor de la variable CP_p en la función, quedando para la reasignación la expresión (50a) y la concatenación (51a).

$$\min Z = \sum_{p=1}^P \sum_{h=ha+1}^H YI_{ph}^r \cdot \left(\frac{CP_p}{Co_{\max}} \right) \tag{50a}$$

$$\min Z = \sum_{p=1}^P \sum_{h=hc+1}^{H^A} YI_{ph}^u \cdot \left(\frac{CP_p}{Co_{\max}} \right) \tag{51a}$$

En la función (52) se sustituye la variable d_{ih}^{r+} y d_{ih}^{r-} por YSS_{ih}^r y YNS_{ih}^r para normalizarla; y de la misma forma sucede con la función (53) donde d_{ih}^{u+} y d_{ih}^{u-} se suplen por las variables YSS_{ih}^u y YNS_{ih}^u respectivamente. Por lo que dos nuevas variables que aparecen en el modelo se calculan con

$$YSS_t^r = \frac{\sum_{h=ha+1}^H d_{ih}^{r+}}{\sum_{h=ha+1}^H d_{ih}^{r-}} \quad \text{ó bien} \quad YSS_t^u = \frac{\sum_{h=hc+1}^{H^A} d_{ih}^{u+}}{\sum_{h=hc+1}^{H^A} d_{ih}^{u-}} \quad \text{según corresponda.}$$

De tal manera que la normalización para el caso de reasignación es:

$$\min Z = \sum_{t=1}^T [YSS_t^r + YNS_t^r] \quad (52a)$$

Y para concatenación:

$$\min Z = \sum_{t=1}^T [YSS_t^u + YNS_t^u] \quad (53a)$$

7.3.1.4 Funciones normalizadas para los casos RC/ AC,RCR/ CR y RCI/ ACI

Por último para considerar la evaluación multicriterio de los problemas de reasignación ó concatenación considerando el personal por el tipo de categoría a la que pertenece, es necesaria la adaptación de la función (54) y (23) para el caso de reasignación, para concatenación la (55) y (23). De la cuales la (23) ya fueron normalizadas en el apartado 7.3.1.2, por lo tanto solo queda solo por normalizar la función (54) y (55), en la cuales de la misma manera que se hizo con la función (52a) y (53a) se incorpora a la función la variable Co_{\max} , quedando las funciones de la siguiente forma:

$$\min Z = \sum_{h=ha+1}^H \sum_{c=1}^C \left(\left(\frac{co_c}{Co_{\max}} \right) \cdot \sum_{p=1|Pc_p \in c}^P YI_{ph}^r \right) \quad (54a)$$

$$\min Z = \sum_{h=ha+1}^{H^A} \sum_{c=1}^C \left(\left(\frac{co_c}{Co_{\max}} \right) \cdot \sum_{p=1|Pc_p=c}^P YI_{ph}^u \right) \quad (55a)$$

7.3.2 Funciones objetivo multicriterio

La formalización del modelo multicriterio, consiste en integrar en una sola función los diferentes criterios de evaluación que se involucran en la búsqueda de solución óptima al problema de asignación que se persigue resolver en esta tesis doctoral.

Además de incluir los diferentes criterios en una sola función, se les ha agregado una ponderación con el que se pretende crear una función versátil, que le permita adaptarse a los objetivos específicos que persigan las organizaciones de forma particular.

Por tanto se han generado cuatro funciones generales, las cuales quedan de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} \min Z = & w\alpha \cdot \left[\sum_{t=1}^T [pt_t \cdot YNS_t] \right] + w\beta \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{h=1}^H \left(YI_{ph} \cdot \left(\frac{CP_p}{CP_{\max}} \right) \right) \right] + \\ & w\lambda \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T [\lambda_1 \cdot XIT_{pt}^+ + \lambda_2 \cdot XIT_{pt}^-] \right] + w\delta \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T (r_{pt}) \cdot (XIT'_{pt}) \right] + \\ & w\psi \cdot \left[\sum_{t=1}^T [\psi_1 \cdot YSS_t + \psi_2 \cdot YNS_t] \right] + w\phi \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T pp_{pt} \cdot XIT'_{pt} \right] \end{aligned} \quad (I)$$

$$\begin{aligned} w\alpha, w\beta, w\lambda, w\delta, w\psi, w\phi & \geq 0 \\ \lambda_1, \lambda_2 & \geq 0 \\ \psi_1, \psi_2 & \geq 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \min Z = & w\alpha \cdot \left[\sum_{t=1}^T [pt_t \cdot YNS_t] \right] + w\beta \cdot \left[\sum_{h=1}^H \sum_{c=1}^C \left(\frac{co_c}{Co_{\max}} \right) \cdot \sum_{p=1|Pc_p=c}^P YI_{ph} \right] + \\ & w\lambda \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T [\lambda_1 \cdot XIT_{pt}^+ + \lambda_2 \cdot XIT_{pt}^-] \right] + w\delta \cdot \left[\sum_{t=1}^T \sum_{c=1}^C \left(r'_{ct} \cdot \sum_{p=1|Pc_p=c}^P XIT'_{pt} \right) \right] + \\ & w\psi \cdot \left[\sum_{t=1}^T [\psi_1 \cdot YSS_t + \psi_2 \cdot YNS_t] \right] + w\phi \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T pp_{pt} \cdot XIT'_{pt} \right] \end{aligned} \quad (II)$$

$$\begin{aligned} w\alpha, w\beta, w\lambda, w\delta, w\psi, w\phi & \geq 0 \\ \lambda_1, \lambda_2 & \geq 0 \\ \psi_1, \psi_2 & \geq 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \min Z &= w\alpha \cdot \left[\sum_{t=1}^T [pt_t \cdot YNS_t^r] \right] + w\beta \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{h=ha+1}^H \left[(YI_{ph}^r) \cdot \left(\frac{CP_p}{Cp_{\max}} \right) \right] \right] + \\
 &w\lambda \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T [\lambda_1 \cdot XIT_{pt}^+ + \lambda_2 \cdot XIT_{pt}^-] \right] + w\delta \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T (r_{pt}) \cdot (XIT_{pt}') \right] + \\
 &w\psi \cdot \left[\sum_{t=1}^T [\psi_1 \cdot YSS_t^r + \psi_2 \cdot YNS_t^r] \right] + w\phi \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T pp_{pt} \cdot XIT_{pt}' \right] \tag{III} \\
 &w\alpha, w\beta, w\lambda, w\delta, w\psi, w\phi \geq 0 \\
 &\lambda_1, \lambda_2 \geq 0 \\
 &\psi_1, \psi_2 \geq 0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \min Z &= w\alpha \cdot \left[\sum_{t=1}^T [pt_t \cdot YNS_t^r] \right] + w\beta \cdot \left[\sum_{h=ha+1}^H \sum_{c=1}^C \left(\frac{co_c}{Co_{\max}} \right) \cdot \sum_{p=1|Pc_p=c}^P YI_{ph}^r \right] + \\
 &w\lambda \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T [\lambda_1 \cdot XIT_{pt}^+ + \lambda_2 \cdot XIT_{pt}^-] \right] + w\delta \cdot \left[\sum_{t=1}^T \sum_{c=1}^C \left(r'_{ct} \cdot \sum_{p=1|Pc_p=c}^P XIT_{pt}' \right) \right] + \\
 &w\psi \cdot \left[\sum_{t=1}^T [\psi_1 \cdot YSS_t^r + \psi_2 \cdot YNS_t^r] \right] + w\phi \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T pp_{pt} \cdot XIT_{pt}' \right] \tag{IV} \\
 &w\alpha, w\beta, w\lambda, w\delta, w\psi, w\phi \geq 0 \\
 &\lambda_1, \lambda_2 \geq 0 \\
 &\psi_1, \psi_2 \geq 0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \min Z &= w\alpha \cdot \left[\sum_{t=1}^T [pt_t \cdot YNS_t^u] \right] + w\beta \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{h=hc+1}^{H^A} \left[(YI_{ph}^u) \cdot \left(\frac{CP_p}{Cp_{\max}} \right) \right] \right] + \\
 &w\lambda \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T [\lambda_1 \cdot XIT_{pt}^+ + \lambda_2 \cdot XIT_{pt}^-] \right] + w\delta \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T (r_{pt}) \cdot (XIT_{pt}') \right] + \\
 &w\psi \cdot \left[\sum_{t=1}^T [\psi_1 \cdot YSS_t^u + \psi_2 \cdot YNS_t^u] \right] + w\phi \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T pp_{pt} \cdot XIT_{pt}' \right] \tag{V} \\
 &w\alpha, w\beta, w\lambda, w\delta, w\psi, w\phi \geq 0 \\
 &\lambda_1, \lambda_2 \geq 0 \\
 &\psi_1, \psi_2 \geq 0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \min Z &= w\alpha \cdot \left[\sum_{t=1}^T [pt_t \cdot YNS_t^u] \right] + w\beta \cdot \left[\sum_{h=hc+1}^{H^A} \sum_{c=1}^C \left(\frac{co_c}{Co_{\max}} \right) \cdot \sum_{p=1|Pc_p=c}^P YI_{ph}^u \right] + \\
 &w\lambda \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T [\lambda_1 \cdot XIT_{pt}^+ + \lambda_2 \cdot XIT_{pt}^-] \right] + w\delta \cdot \left[\sum_{t=1}^T \sum_{c=1}^C \left(r'_{ct} \cdot \sum_{p=1|Pc_p=c}^P XIT_{pt}' \right) \right] + \\
 &w\psi \cdot \left[\sum_{t=1}^T [\psi_1 \cdot YSS_t^u + \psi_2 \cdot YNS_t^u] \right] + w\phi \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T pp_{pt} \cdot XIT_{pt}' \right] \tag{VI} \\
 &w\alpha, w\beta, w\lambda, w\delta, w\psi, w\phi \geq 0 \\
 &\lambda_1, \lambda_2 \geq 0 \\
 &\psi_1, \psi_2 \geq 0
 \end{aligned}$$

Donde la función (I) es la que se emplea en caso que se presente un problema de asignación partiendo de las características individuales del personal, la función (II) se considera para el problema igualmente de asignación con la

diferencia que se tiene el personal clasificado por categorías, la función (III) se utiliza para los problemas de reasignación teniendo el personal con características individuales y la (IV) para la reasignación donde se trabaja con categorías del personal. Por último (V) y (VI) corresponden al modelo de concatenación, donde la (V) es para el trato individual de los datos y el (VI) cuando se presentan por categorías.

Una vez formalizadas las funciones multicriterio en este apartado, en el siguiente se hace una descripción de la metodología utilizada para la búsqueda de soluciones óptimas a los problemas de asignación planteados en esta tesis doctoral, donde además se describe el papel que juegan los pesos en las funciones multicriterios descritas arriba.

7.3.3 Metodología multicriterio

A las funciones multicriterios formalizadas e identificadas como (I), (II), (III), (IV), (V) y (VI), se aplica el método de ponderación de funciones para encontrar la asignación óptima. Dependiendo del problema de asignación que se pretenda resolver, se ha de ubicar dentro de esas cuatro funciones multiobjetivos. Como ya se ha dicho en cada una de las funciones multicriterio se incluyen cada uno de los criterios a considerar para llevar a cabo la asignación de forma óptima, donde dichas funciones están afectadas por un valor de ponderación que representa la importancia relativa del criterio al llevar a cabo la asignación.

Se considera además para dos de sus criterios, la aplicación de la programación por metas (*goal programming*), en su enfoque de programación por metas ponderadas (*weighted goal programming*). En los cuales asigna una ponderación a las variables de desviaciones asociadas con la cantidad de personal asignado a las tareas y la repetibilidad de tareas por el personal.

Donde $w\alpha, w\beta, w\lambda, w\delta, w\psi, w\phi$ son los parámetros de la función objetivo que dan el valor de ponderación a los seis diferentes criterios considerados para la asignación del personal. El parámetro tendrá un valor de 0 cuando el criterio no tiene ningún interés para la asignación del personal, el valor de ponderación mayor de 0 y menor que 1, significa que el criterio tiene poca importancia en relación a los otros criterios para llevar a cabo la asignación. Cuando el valor de ponderación asignado a un criterio es mayor que los valores de ponderación asignados a los otros criterios, significa que tiene una mayor importancia en relación a los demás criterios, y cuando el valor de ponderación es igual para todos los criterios significa que no existe ninguna afectación en la importancia de cada uno de ellos. Por lo tanto, cuanto mayor

sea la diferencia en los valores de ponderación asignados a los criterios, significa que existe una mayor diferencia en la importancia que tienen los criterios.

Los parámetros λ_1, λ_2 ponderan los componentes de las variables de desviación asociados a la proporción de intervalos realizando la tarea t por la persona p a lo largo del horizonte de planificación, donde λ_1 afecta la desviación superior del valor ideal de los intervalos de tiempo que la persona p dedique a la tarea t y afecta a la desviación inferior de la cantidad de intervalos que la persona p realice la tarea t .

La presencia de los parámetros ψ_1, ψ_2 es para ponderar los componentes relacionados con las desviaciones vinculadas a la capacidad asignada a la tarea t en cada uno de los intervalos h . Donde ψ_1 se asocia a la desviación superior de la cantidad de personal necesario para la tarea t en el intervalo de tiempo h y ψ_2 afecta la desviación inferior a la cantidad de personal necesario en la tarea t para cada intervalo h .

7.4. Formalización de modelos multicriterio

Tomando como punto de partida las funciones y restricciones definidas en los apartados anteriores de este capítulo, a continuación se presenta la formalización de los diferentes modelos multicriterio (tabla 7.4), mostrando la función objetivo que le corresponde, así como las restricciones aplicables a cada modelo. En cada restricción se indica su número de identificación, por lo que si se desea conocer el significado de cada restricción solo hay que ir al apartado donde se encuentra descrita.

7.4.1 Modelo BP (Asignación básica individualizada)

$$\begin{aligned} \min Z = & w\alpha \cdot \left[\sum_{t=1}^T [pt_t \cdot YNS_t] \right] + w\beta \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{h=1}^H \left[(YI_{ph}) \cdot \left(\frac{CP_p}{CP_{\max}} \right) \right] \right] + \\ & w\lambda \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T [\lambda_1 \cdot XIT_{pt}^+ + \lambda_2 \cdot XIT_{pt}^-] \right] + w\delta \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T (r_{pt}) \cdot (XIT'_{pt}) \right] + \\ & w\psi \cdot \left[\sum_{t=1}^T [\psi_1 \cdot YSS_t + \psi_2 \cdot YNS_t] \right] + w\phi \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T pp_{pt} \cdot XIT'_{pt} \right] \end{aligned} \quad (I)$$

Sujeto a:

$$XI_{ph} \leq 1 \quad \forall p; \forall h \quad (1)$$

$$\sum_{t=1}^T X_{pth} \geq PS_{ph} \quad \forall p; \forall h \quad (2)$$

$$\sum_{t=1}^T X_{pth} = 1 \quad \forall p | m_p = 0 ; \forall h \quad (3)$$

$$XE_{cth} \leq e_{ct} \quad \forall c; \forall t; \forall h \quad (4)$$

$$X'_{th} \leq [d'_{th} (1 + se_t)] \quad \forall t; \forall h \quad (5)$$

$$X'_{th} \geq [d'_{th} (1 - sd_t)] \quad \forall t; \forall h \quad (6)$$

$$it_{pt}^{\min} \leq XIT_{pt} \leq it_{pt}^{\max} \quad \forall p; \forall t \quad (7)$$

$$w\alpha, w\beta, w\lambda, w\delta, w\psi, w\phi \geq 0$$

$$\lambda_1, \lambda_2 \geq 0$$

$$\psi_1, \psi_2 \geq 0$$

7.4.2 Modelo BPR (Asignación individualizada por rango)

$$\begin{aligned} \min Z = & w\alpha \cdot \left[\sum_{t=1}^T [pt_t \cdot YNS_t] \right] + w\beta \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{h=1}^H \left[(YI_{ph}) \cdot \left(\frac{CP_p}{CP_{\max}} \right) \right] \right] + \\ & w\lambda \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T [\lambda_1 \cdot XIT_{pt}^+ + \lambda_2 \cdot XIT_{pt}^-] \right] + w\delta \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T (r_{pt}) \cdot (XIT'_{pt}) \right] + \\ & w\psi \cdot \left[\sum_{t=1}^T [\psi_1 \cdot YSS_t + \psi_2 \cdot YNS_t] \right] + w\phi \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T pp_{pt} \cdot XIT'_{pt} \right] \end{aligned} \quad (I)$$

Sujeto a:

$$XI_{ph} \leq 1 \quad \forall p; \forall h \quad (1)$$

$$\sum_{t=1}^T X_{pth} \geq PS_{ph} \quad \forall p; \forall h \quad (2)$$

$$\sum_{t=1}^T X_{pth} = 1 \quad \forall p | m_p = 0 ; \forall h \quad (3)$$

$$XE_{cth} \leq e_{ct} \quad \forall c; \forall t; \forall h \quad (4)$$

$$X'_{th} \leq [d'_{th} (1 + se_t)] \quad \forall t; \forall h \quad (5)$$

$$X'_{th} \geq [d'_{th} (1 - sd_t)] \quad \forall t; \forall h \quad (6)$$

$$it_{pt}^{\min} \leq XIT_{pt} \leq it_{pt}^{\max} \quad \forall p; \forall t \quad (7)$$

$$X_{pt1} \cdot l \min_t \leq \sum_{h=1}^{l \min_t} X_{pth} \quad h = 1; \forall p; \forall t \quad (8)$$

$$M_{pth} \cdot l \min_t \leq \sum_{j=h}^{j=\min(h+l \min_t-1, H)} X_{ptj} \quad \forall h \in 2 \dots H; \forall p; \forall t \quad (9)$$

$$\sum_{j=h-l \max_{pt}}^{j=h} X_{ptj} \leq l \max_t \quad \forall h \in (l \max_{pt} + 1 \dots H); \quad \forall p; \forall t \quad (10)$$

$$w\alpha, w\beta, w\lambda, w\delta, w\psi, w\phi \geq 0$$

$$\lambda_1, \lambda_2 \geq 0$$

$$\psi_1, \psi_2 \geq 0$$

7.4.3 Modelo BPI (Asignación individualizada por bloque)

$$\begin{aligned} \min Z = & w\alpha \cdot \left[\sum_{t=1}^T [pt_t \cdot YNS_t] \right] + w\beta \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{h=1}^H \left[(YI_{ph}) \cdot \left(\frac{CP_p}{CP_{\max}} \right) \right] \right] + \\ & w\lambda \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T [\lambda_1 \cdot XIT_{pt}^+ + \lambda_2 \cdot XIT_{pt}^-] \right] + w\delta \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T (r_{pt}) \cdot (XIT'_{pt}) \right] + \\ & w\psi \cdot \left[\sum_{t=1}^T [\psi_1 \cdot YSS_t + \psi_2 \cdot YNS_t] \right] + w\phi \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T pp_{pt} \cdot XIT'_{pt} \right] \end{aligned} \quad (I)$$

Sujeto a:

$$XI_{ph} \leq 1 \quad \forall p; \forall h \quad (1)$$

$$\sum_{t=1}^T X_{pth} \geq PS_{ph} \quad \forall p; \forall h \quad (2)$$

$$\sum_{t=1}^T X_{pth} = 1 \quad \forall p | m_p = 0; \forall h \quad (3)$$

$$XE_{cth} \leq e_{ct} \quad \forall c; \forall t; \forall h \quad (4)$$

$$X'_{th} \leq [d'_{th} (1 + se_t)] \quad \forall t; \forall h \quad (5)$$

$$X'_{th} \geq [d'_{th} (1 - sd_t)] \quad \forall t; \forall h \quad (6)$$

$$it_{pt}^{\min} \leq XIT_{pt} \leq it_{pt}^{\max} \quad \forall p; \forall t \quad (7)$$

$$X_{pt1} \cdot ie_t \leq \sum_{h=1}^{h=ie_t} X_{pth} \quad \forall h = 1; \forall p; \forall t \quad (11)$$

$$M_{pth} \cdot ie_t \leq \sum_{j=h}^{j=\min(h+ie_t-1, H)} X_{pj} \quad \forall h \in 2 \dots H; \forall p; \forall t \quad (12)$$

$$\sum_{j=h-ie_t}^{j=h} X_{pj} \leq ie_t \quad \forall h \in (ie_t + 1 \dots H); \quad \forall p; \forall t \quad (13)$$

$$w\alpha, w\beta, w\lambda, w\delta, w\psi, w\phi \geq 0$$

$$\lambda_1, \lambda_2 \geq 0$$

$$\psi_1, \psi_2 \geq 0$$

7.4.4 Modelo BC (Asignación básica por categorías)

$$\begin{aligned} \min Z = & w\alpha \cdot \left[\sum_{t=1}^T [pt_t \cdot YNS_t] \right] + w\beta \cdot \left[\sum_{h=1}^H \sum_{c=1}^C \left(\frac{co_c}{co_{\max}} \right) \cdot \sum_{p=1}^P YI_{ph} \right] + \\ & w\lambda \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T [\lambda_1 \cdot XIT_{pt}^+ + \lambda_2 \cdot XIT_{pt}^-] \right] + w\delta \cdot \left[\sum_{t=1}^T \sum_{c=1}^C \left(r'_{ct} \cdot \sum_{p=1}^P XIT'_{pt} \right) \right] + \\ & w\psi \cdot \left[\sum_{t=1}^T [\psi_1 \cdot YSS_t + \psi_2 \cdot YNS_t] \right] + w\phi \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T pp_{pt} \cdot XIT'_{pt} \right] \end{aligned} \quad (II)$$

Sujeto a:

$$XI_{ph} \leq 1 \quad \forall p; \forall h \quad (1)$$

$$\sum_{t=1}^T X_{pth} \geq PS_{ph} \quad \forall p; \forall h \quad (2)$$

$$\sum_{t=1}^T X_{pth} = \mathbf{1} \quad \forall p | m_p = 0 ; \forall h \quad (3)$$

$$XE_{cth} \leq e_{ct} \quad \forall c; \forall t; \forall h \quad (4)$$

$$X'_{th} \leq [d'_{th} (1 + se_t)] \quad \forall t; \forall h \quad (5)$$

$$X'_{th} \geq [d'_{th} (1 - sd_t)] \quad \forall t; \forall h \quad (6)$$

$$it_{pt}^{\min} \leq XIT_{pt} \leq it_{pt}^{\max} \quad \forall p; \forall t \quad (7)$$

$$w\alpha, w\beta, w\lambda, w\delta, w\psi, w\phi \geq 0$$

$$\lambda_1, \lambda_2 \geq 0$$

$$\psi_1, \psi_2 \geq 0$$

7.4.5 Modelo BCR (Asignación por categoría y rango)

$$\begin{aligned} \min Z = & w\alpha \cdot \left[\sum_{t=1}^T [pt_t \cdot YNS_t] \right] + w\beta \cdot \left[\sum_{h=1}^H \sum_{c=1}^C \left(\frac{co_c}{Co_{\max}} \right) \cdot \sum_{p=1}^P |P_{c_p=c} YI_{ph} \right] + \\ & w\lambda \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T [\lambda_1 \cdot XIT_{pt}^+ + \lambda_2 \cdot XIT_{pt}^-] \right] + w\delta \cdot \left[\sum_{t=1}^T \sum_{c=1}^C \left(r'_{ct} \cdot \sum_{p=1}^P |P_{c_p=c} XIT'_{pt} \right) \right] + \\ & w\psi \cdot \left[\sum_{t=1}^T [\psi_1 \cdot YSS_t + \psi_2 \cdot YNS_t] \right] + w\phi \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T pp_{pt} \cdot XIT'_{pt} \right] \end{aligned} \quad (II)$$

Sujeto a:

$$XI_{ph} \leq \mathbf{1} \quad \forall p; \forall h \quad (1)$$

$$\sum_{t=1}^T X_{pth} \geq PS_{ph} \quad \forall p; \forall h \quad (2)$$

$$\sum_{t=1}^T X_{pth} = \mathbf{1} \quad \forall p | m_p = 0 ; \forall h \quad (3)$$

$$XE_{cth} \leq e_{ct} \quad \forall c; \forall t; \forall h \quad (4)$$

$$X'_{th} \leq [d'_{th} (1 + se_t)] \quad \forall t; \forall h \quad (5)$$

$$X'_{th} \geq [d'_{th} (1 - sd_t)] \quad \forall t; \forall h \quad (6)$$

$$it_{pt}^{\min} \leq XIT_{pt} \leq it_{pt}^{\max} \quad \forall p; \forall t \quad (7)$$

$$X_{pt1} \cdot l \min_t \leq \sum_{h=1}^{l \min_t} X_{pth} \quad h=1; \forall p; \forall t \quad (8)$$

$$M_{pth} \cdot l \min_t \leq \sum_{j=h}^{j=\min(h+l \min_t-1, H)} X_{ptj} \quad \forall h \in 2 \dots H; \forall p; \forall t \quad (9)$$

$$\sum_{j=h-l \max_{pt}}^{j=h} X_{ptj} \leq l \max_t \quad \forall h \in (l \max_{pt} + 1 \dots H); \quad \forall p; \forall t \quad (10)$$

$$w\alpha, w\beta, w\lambda, w\delta, w\psi, w\phi \geq 0$$

$$\lambda_1, \lambda_2 \geq 0$$

$$\psi_1, \psi_2 \geq 0$$

7.4.6 Modelo BCI (Asignación por categorías y por bloque)

$$\begin{aligned} \min Z = & w\alpha \cdot \left[\sum_{t=1}^T [pt_t \cdot YNS_t] \right] + w\beta \cdot \left[\sum_{h=1}^H \sum_{c=1}^C \left(\left(\frac{co_c}{Co_{\max}} \right) \cdot \sum_{p=1}^P |P_{c_p=c} YI_{ph} \right) \right] + \\ & w\lambda \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T [\lambda_1 \cdot XIT_{pt}^+ + \lambda_2 \cdot XIT_{pt}^-] \right] + w\delta \cdot \left[\sum_{t=1}^T \sum_{c=1}^C \left(r'_{ct} \cdot \sum_{p=1}^P |P_{c_p=c} XIT'_{pt} \right) \right] + \\ & w\psi \cdot \left[\sum_{t=1}^T [\psi_1 \cdot YSS_t + \psi_2 \cdot YNS_t] \right] + w\phi \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T pp_{pt} \cdot XIT'_{pt} \right] \end{aligned} \quad (II)$$

Sujeto a:

$$XI_{ph} \leq 1 \quad \forall p; \forall h \quad (1)$$

$$\sum_{t=1}^T X_{pth} \geq PS_{ph} \quad \forall p; \forall h \quad (2)$$

$$\sum_{t=1}^T X_{pth} = 1 \quad \forall p | m_p = 0; \forall h \quad (3)$$

$$XE_{cth} \leq e_{ct} \quad \forall c; \forall t; \forall h \quad (4)$$

$$X'_{th} \leq [d'_{th} (1 + se_t)] \quad \forall t; \forall h \quad (5)$$

$$X'_{th} \geq [d'_{th} (1 - sd_t)] \quad \forall t; \forall h \quad (6)$$

$$it_{pt}^{\min} \leq XIT_{pt} \leq it_{pt}^{\max} \quad \forall p; \forall t \quad (7)$$

$$X_{pt1} \cdot ie_t \leq \sum_{h=1}^{h=ie_t} X_{pth} \quad \forall h = 1; \forall p; \forall t \quad (11)$$

$$M_{pth} \cdot ie_t \leq \sum_{j=h}^{j=\min(h+ie_t-1, H)} X_{ptj} \quad \forall h \in 2 \dots H; \forall p; \forall t \quad (12)$$

$$\sum_{j=h-ie_t}^{j=h} X_{ptj} \leq ie_t \quad \forall h \in (ie_t + 1 \dots H); \quad \forall p; \forall t \quad (13)$$

$$w\alpha, w\beta, w\lambda, w\delta, w\psi, w\phi \geq 0$$

$$\lambda_1, \lambda_2 \geq 0$$

$$\psi_1, \psi_2 \geq 0$$

7.4.7 Modelo RP (Reasignación básica individualizada)

$$\begin{aligned} \min Z = & w\alpha \cdot \left[\sum_{t=1}^T [pt_t \cdot YNS_t^r] \right] + w\beta \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{h=ha+1}^H \left[(YI_{ph}^r) \cdot \left(\frac{CP_p}{Cp_{\max}} \right) \right] \right] + \\ & w\lambda \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T [\lambda_1 \cdot XIT_{pt}^+ + \lambda_2 \cdot XIT_{pt}^-] \right] + w\delta \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T (r_{pt}) \cdot (XIT_{pt}^r) \right] + \\ & w\psi \cdot \left[\sum_{t=1}^T [\psi_1 \cdot YSS_t^r + \psi_2 \cdot YNS_t^r] \right] + w\phi \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T pp_{pt} \cdot XIT_{pt}^r \right] \end{aligned} \quad (III)$$

Sujeto a:

$$XE_{cth}^r \leq e_{ct} \quad \forall p; \forall h \quad (24)$$

$$X_{th}^{r'} \leq [d'_{th} (1 + se_t)] \quad \forall p; \forall h \quad (25)$$

$$X_{th}^{r'} \geq [d'_{th} (1 - sd_t)] \quad \forall p | m_p = 0; \forall h \quad (26)$$

$$XI_{ph}^r \leq 1 \quad \forall c; \forall t; \forall h \quad (27)$$

$$\sum_{t=1}^T X_{pth}^r = \mathbf{1} \quad \forall t; \forall h \quad (28)$$

$$\sum_{t=1}^T X_{pth}^r \geq PS_{ph} \quad \forall t; \forall h \quad (29)$$

$$it_{pt}^{\min} \leq XIT_{pt} \leq it_{pt}^{\max} \quad \forall p; \forall t \quad (7)$$

$$w\alpha, w\beta, w\lambda, w\delta, w\psi, w\phi \geq 0$$

$$\lambda_1, \lambda_2 \geq 0$$

$$\psi_1, \psi_2 \geq 0$$

7.4.8 Modelo RPR (Reasignación individualizada por rango)

$$\begin{aligned} \min Z = & w\alpha \cdot \left[\sum_{t=1}^T [pt_t \cdot YNS_t^r] \right] + w\beta \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{h=ha+1}^H \left[(YI_{ph}^r) \cdot \left(\frac{CP_p}{CP_{\max}} \right) \right] \right] + \\ & w\lambda \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T [\lambda_1 \cdot XIT_{pt}^+ + \lambda_2 \cdot XIT_{pt}^-] \right] + w\delta \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T (r_{pt}) \cdot (XIT_{pt}^r) \right] + \\ & w\psi \cdot \left[\sum_{t=1}^T [\psi_1 \cdot YSS_t^r + \psi_2 \cdot YNS_t^r] \right] + w\phi \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T pp_{pt} \cdot XIT_{pt}^r \right] \end{aligned} \quad (III)$$

Sujeto a:

$$XE_{ct}^r \leq e_{ct} \quad \forall p; \forall h \quad (24)$$

$$X_{th}^{r'} \leq [d_{th}^{r'} (1 + se_t)] \quad \forall p; \forall h \quad (25)$$

$$X_{th}^{r'} \geq [d_{th}^{r'} (1 - sd_t)] \quad \forall p | m_p = 0; \forall h \quad (26)$$

$$XI_{ph}^r \leq 1 \quad \forall c; \forall t; \forall h \quad (27)$$

$$\sum_{t=1}^T X_{pth}^r = \mathbf{1} \quad \forall t; \forall h \quad (28)$$

$$\sum_{t=1}^T X_{pth}^r \geq PS_{ph} \quad \forall t; \forall h \quad (29)$$

$$it_{pt}^{\min} \leq XIT_{pt} \leq it_{pt}^{\max} \quad \forall p; \forall t \quad (7)$$

$$M_{pth}^r \cdot l \min_t \leq \sum_{j=\max(h-l \min_t, 1)}^{j=h} X_{ptj}^r \quad \forall h \in (ha+1 \dots H) \quad \forall p; \forall t \quad (36)$$

$$\sum_{j=\max(h-l \max_{pt}, 1)}^{j=h} X_{ptj}^r \leq l \max_{pt} \quad \forall h \in (ha+1 \dots H) \quad \forall p; \forall t \quad (37)$$

$$w\alpha, w\beta, w\lambda, w\delta, w\psi, w\phi \geq 0$$

$$\lambda_1, \lambda_2 \geq 0$$

$$\psi_1, \psi_2 \geq 0$$

7.4.9 Modelo RPI (Reasignación individualizada por bloque)

$$\begin{aligned} \min Z = & w\alpha \cdot \left[\sum_{t=1}^T [pt_t \cdot YNS_t^r] \right] + w\beta \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{h=ha+1}^H \left[(YI_{ph}^r) \cdot \left(\frac{CP_p}{CP_{\max}} \right) \right] \right] + \\ & w\lambda \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T [\lambda_1 \cdot XIT_{pt}^+ + \lambda_2 \cdot XIT_{pt}^-] \right] + w\delta \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T (r_{pt}) \cdot (XIT_{pt}') \right] + \\ & w\psi \cdot \left[\sum_{t=1}^T [\psi_1 \cdot YSS_t^r + \psi_2 \cdot YNS_t^r] \right] + w\phi \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T pp_{pt} \cdot XIT_{pt}' \right] \end{aligned} \quad (III)$$

Sujeto a:

$$XE_{cth}^r \leq e_{ct} \quad \forall p; \forall h \quad (24)$$

$$X_{ih}^r \leq [d_{ih}^r (1 + se_t)] \quad \forall p; \forall h \quad (25)$$

$$X_{ih}^r \geq [d_{ih}^r (1 - sd_t)] \quad \forall p | m_p = 0; \forall h \quad (26)$$

$$XI_{ph}^r \leq 1 \quad \forall c; \forall t; \forall h \quad (27)$$

$$\sum_{t=1}^T X_{pth}^r = 1 \quad \forall t; \forall h \quad (28)$$

$$\sum_{t=1}^T X_{pth}^r \geq PS_{ph} \quad \forall t; \forall h \quad (29)$$

$$it_{pt}^{\min} \leq XIT_{pt} \leq it_{pt}^{\max} \quad \forall p; \forall t \quad (7)$$

$$M_{pth}^r \cdot ie_t \leq \sum_{j=\max(h-ie_t,1)}^{j=h} X_{ptj}^r \quad \forall h \in (ha+1...H) \quad (36)$$

$$\forall p; \forall t$$

$$\sum_{j=\max(h-ie_t,1)}^{j=h} X_{ptj}^r \leq ie_t \quad \forall h \in (ha+1...H) \quad (37)$$

$$\forall p; \forall t$$

$$w\alpha, w\beta, w\lambda, w\delta, w\psi, w\phi \geq 0$$

$$\lambda_1, \lambda_2 \geq 0$$

$$\psi_1, \psi_2 \geq 0$$

7.4.10 Modelo RC (Reasignación básica por categorías)

$$\begin{aligned} \min Z = & w\alpha \cdot \left[\sum_{t=1}^T [pt_t \cdot YNS_t^r] \right] + w\beta \cdot \left[\sum_{h=ha+1}^H \sum_{c=1}^C \left(\frac{co_c}{Co_{\max}} \right) \cdot \sum_{p=1|Pc_p=c}^P YI_{ph}^r \right] + \\ & w\lambda \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T [\lambda_1 \cdot XIT_{pt}^+ + \lambda_2 \cdot XIT_{pt}^-] \right] + w\delta \cdot \left[\sum_{t=1}^T \sum_{c=1}^C \left(r'_{ct} \cdot \sum_{p=1|Pc_p=c}^P XIT_{pt}' \right) \right] + \quad (IV) \\ & w\psi \cdot \left[\sum_{t=1}^T [\psi_1 \cdot YSS_t^r + \psi_2 \cdot YNS_t^r] \right] + w\phi \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T pp_{pt} \cdot XIT_{pt}' \right] \end{aligned}$$

Sujeto a:

$$XE_{cth}^r \leq e_{ct} \quad \forall p; \forall h \quad (24)$$

$$X_{th}^{r'} \leq [d_{th}^{r'} (1 + se_t)] \quad \forall p; \forall h \quad (25)$$

$$X_{th}^{r'} \geq [d_{th}^{r'} (1 - sd_t)] \quad \forall p | m_p = 0; \forall h \quad (26)$$

$$XI_{ph}^r \leq 1 \quad \forall c; \forall t; \forall h \quad (27)$$

$$\sum_{t=1}^T X_{pth}^r = 1 \quad \forall t; \forall h \quad (28)$$

$$\sum_{t=1}^T X_{pth}^r \geq PS_{ph} \quad \forall t; \forall h \quad (29)$$

$$it_{pt}^{\min} \leq XIT_{pt} \leq it_{pt}^{\max} \quad \forall p; \forall t \quad (7)$$

$$w\alpha, w\beta, w\lambda, w\delta, w\psi, w\phi \geq 0$$

$$\lambda_1, \lambda_2 \geq 0$$

$$\psi_1, \psi_2 \geq 0$$

7.4.11 Modelo RCR (Reasignación por categorías y rango)

$$\begin{aligned} \min Z = & w\alpha \cdot \left[\sum_{t=1}^T [pt_t \cdot YNS_t^r] \right] + w\beta \cdot \left[\sum_{h=ha+1}^H \sum_{c=1}^C \left(\frac{co_c}{Co_{\max}} \right) \cdot \sum_{p=1}^P \sum_{pc_p=c} YI_{ph}^r \right] + \\ & w\lambda \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T [\lambda_1 \cdot XIT_{pt}^+ + \lambda_2 \cdot XIT_{pt}^-] \right] + w\delta \cdot \left[\sum_{t=1}^T \sum_{c=1}^C \left(r'_{ct} \cdot \sum_{p=1}^P \sum_{pc_p=c} XIT_{pt}' \right) \right] + \quad (IV) \\ & w\psi \cdot \left[\sum_{t=1}^T [\psi_1 \cdot YSS_t^r + \psi_2 \cdot YNS_t^r] \right] + w\phi \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T pp_{pt} \cdot XIT_{pt}' \right] \end{aligned}$$

Sujeto a:

$$XE_{ct}^r \leq e_{ct} \quad \forall p; \forall h \quad (24)$$

$$X_{th}^{r'} \leq [d_{th}^{r'} (1 + se_t)] \quad \forall p; \forall h \quad (25)$$

$$X_{th}^{r'} \geq [d_{th}^{r'} (1 - sd_t)] \quad \forall p | m_p = 0; \forall h \quad (26)$$

$$XI_{ph}^r \leq 1 \quad \forall c; \forall t; \forall h \quad (27)$$

$$\sum_{t=1}^T X_{pth}^r = 1 \quad \forall t; \forall h \quad (28)$$

$$\sum_{t=1}^T X_{pth}^r \geq PS_{ph} \quad \forall t; \forall h \quad (29)$$

$$it_{pt}^{\min} \leq XIT_{pt} \leq it_{pt}^{\max} \quad \forall p; \forall t \quad (7)$$

$$M_{pth}^r \cdot l \min_t \leq \sum_{j=\max(h-l \min_t, 1)}^{j=h} X_{ptj}^r \quad \forall h \in (ha+1 \dots H) \quad (36)$$

$$\forall p; \forall t$$

$$\sum_{j=\max(h-l \max_{pt}, 1)}^{j=h} X_{ptj}^r \leq l \max_{pt} \quad \forall h \in (ha+1 \dots H) \quad (37)$$

$$\forall p; \forall t$$

$$w\alpha, w\beta, w\lambda, w\delta, w\psi, w\phi \geq 0$$

$$\lambda_1, \lambda_2 \geq 0$$

$$\psi_1, \psi_2 \geq 0$$

7.4.12 Modelo RPI (Reasignación individualizada por bloque)

$$\begin{aligned}
 \min Z = & w\alpha \cdot \left[\sum_{t=1}^T [pt_t \cdot YNS_t^r] \right] + w\beta \cdot \left[\sum_{h=ha+1}^H \sum_{c=1}^C \left(\frac{co_c}{Co_{\max}} \right) \cdot \sum_{p=1}^P \sum_{Pc_p=c} YI_{ph}^r \right] + \\
 & w\lambda \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T [\lambda_1 \cdot XIT_{pt}^+ + \lambda_2 \cdot XIT_{pt}^-] \right] + w\delta \cdot \left[\sum_{t=1}^T \sum_{c=1}^C \left(r'_{ct} \cdot \sum_{p=1}^P \sum_{Pc_p=c} XIT_{pt}' \right) \right] + \quad (IV) \\
 & w\psi \cdot \left[\sum_{t=1}^T [\psi_1 \cdot YSS_t^r + \psi_2 \cdot YNS_t^r] \right] + w\phi \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T pp_{pt} \cdot XIT_{pt}' \right]
 \end{aligned}$$

Sujeto a:

$$XE_{ct}^r \leq e_{ct} \quad \forall p; \forall h \quad (24)$$

$$X_{th}^{r'} \leq [d_{th}^{r'} (1 + se_t)] \quad \forall p; \forall h \quad (25)$$

$$X_{th}^{r'} \geq [d_{th}^{r'} (1 - sd_t)] \quad \forall p | m_p = 0; \forall h \quad (26)$$

$$XI_{ph}^r \leq 1 \quad \forall c; \forall t; \forall h \quad (27)$$

$$\sum_{t=1}^T X_{pth}^r = 1 \quad \forall t; \forall h \quad (28)$$

$$\sum_{t=1}^T X_{pth}^r \geq PS_{ph} \quad \forall t; \forall h \quad (29)$$

$$it_{pt}^{\min} \leq XIT_{pt} \leq it_{pt}^{\max} \quad \forall p; \forall t \quad (7)$$

$$M_{pth}^r \cdot ie_t \leq \sum_{j=\max(h-ie_t, 1)}^{j=h} X_{ptj}^r \quad \begin{array}{l} \forall h \in (ha+1 \dots H) \\ \forall p; \forall t \end{array} \quad (36)$$

$$\sum_{j=\max(h-ie_t, 1)}^{j=h} X_{ptj}^r \leq ie_t \quad \begin{array}{l} \forall h \in (ha+1 \dots H) \\ \forall p; \forall t \end{array} \quad (37)$$

$$w\alpha, w\beta, w\lambda, w\delta, w\psi, w\phi \geq 0$$

$$\lambda_1, \lambda_2 \geq 0$$

$$\psi_1, \psi_2 \geq 0$$

7.4.13 Modelo AP (Concatenación básica individualizada)

$$\begin{aligned} \min Z = & w\alpha \cdot \left[\sum_{t=1}^T [pt_t \cdot YNS_t^u] \right] + w\beta \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{h=hc+1}^{H^A} \left[(YI_{ph}^u) \cdot \left(\frac{CP_p}{CP_{\max}} \right) \right] \right] + \\ & w\lambda \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T [\lambda_1 \cdot XIT_{pt}^+ + \lambda_2 \cdot XIT_{pt}^-] \right] + w\delta \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T (r_{pt}) \cdot (XIT'_{pt}) \right] + \quad (V) \\ & w\psi \cdot \left[\sum_{t=1}^T [\psi_1 \cdot YSS_t^u + \psi_2 \cdot YNS_t^u] \right] + w\phi \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T pp_{pt} \cdot XIT'_{pt} \right] \end{aligned}$$

Sujeto a:

$$XE_{cth}^u \leq e_{ct} \quad \forall p; \forall h \quad (30)$$

$$X_{th}^{u'} \leq [d_{th}^{u'} (1 + se_t)] \quad \forall p; \forall h \quad (31)$$

$$X_{th}^{u'} \geq [d_{th}^{u'} (1 - sd_t)] \quad \forall p | m_p = 0; \forall h \quad (32)$$

$$XI_{ph}^u \leq 1 \quad \forall c; \forall t; \forall h \quad (33)$$

$$\sum_{t=1}^T X_{pth}^u = 1 \quad \forall t; \forall h \quad (34)$$

$$\sum_{t=1}^T X_{pth}^u \geq PS_{ph} \quad \forall t; \forall h \quad (35)$$

$$\dot{it}_{pt}^{\min} \leq XIT_{pt} \leq \dot{it}_{pt}^{\max} \quad \forall p; \forall t \quad (7)$$

$$w\alpha, w\beta, w\lambda, w\delta, w\psi, w\phi \geq 0$$

$$\lambda_1, \lambda_2 \geq 0$$

$$\psi_1, \psi_2 \geq 0$$

7.4.14 Modelo APR (Concatenación individualizada por rango)

$$\begin{aligned} \min Z = & w\alpha \cdot \left[\sum_{t=1}^T [pt_t \cdot YNS_t^u] \right] + w\beta \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{h=hc+1}^{H^A} \left[(YI_{ph}^u) \cdot \left(\frac{CP_p}{CP_{\max}} \right) \right] \right] + \\ & w\lambda \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T [\lambda_1 \cdot XIT_{pt}^+ + \lambda_2 \cdot XIT_{pt}^-] \right] + w\delta \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T (r_{pt}) \cdot (XIT'_{pt}) \right] + \quad (V) \\ & w\psi \cdot \left[\sum_{t=1}^T [\psi_1 \cdot YSS_t^u + \psi_2 \cdot YNS_t^u] \right] + w\phi \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T pp_{pt} \cdot XIT'_{pt} \right] \end{aligned}$$

Sujeto a:

$$XE_{ct}^u \leq e_{ct} \quad \forall p; \forall h \quad (30)$$

$$X_{th}^{u'} \leq [d_{th}^{u'}(1 + se_t)] \quad \forall p; \forall h \quad (31)$$

$$X_{th}^{u'} \geq [d_{th}^{u'}(1 - sd_t)] \quad \forall p | m_p = 0; \forall h \quad (32)$$

$$XI_{ph}^u \leq 1 \quad \forall c; \forall t; \forall h \quad (33)$$

$$\sum_{t=1}^T X_{pth}^u = 1 \quad \forall t; \forall h \quad (34)$$

$$\sum_{t=1}^T X_{pth}^u \geq PS_{ph} \quad \forall t; \forall h \quad (35)$$

$$M_{pth}^u \cdot l \min_t \leq \sum_{j=\max(h-l\min_t, 1)}^{j=h} X_{ptj}^u \quad \forall h \in (ha+1 \dots H^A) \quad (38)$$

$$\forall p; \forall t$$

$$\sum_{j=\max(h-l\max_{pt}, 1)}^{j=h} X_{ptj}^u \leq l \max_{pt} \quad \forall h \in (ha+1 \dots H^A) \quad (39)$$

$$\forall p; \forall t$$

$$it_{pt}^{\min} \leq XIT_{pt} \leq it_{pt}^{\max} \quad \forall p; \forall t \quad (7)$$

$$w\alpha, w\beta, w\lambda, w\delta, w\psi, w\phi \geq 0$$

$$\lambda_1, \lambda_2 \geq 0$$

$$\psi_1, \psi_2 \geq 0$$

7.4.15 Modelo APR (Concatenación individualizada por bloque)

$$\begin{aligned} \min Z = & w\alpha \cdot \left[\sum_{t=1}^T [pt_t \cdot YNS_t^u] \right] + w\beta \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{h=hc+1}^{H^A} \left[(YI_{ph}^u) \cdot \left(\frac{CP_p}{CP_{\max}} \right) \right] \right] + \\ & w\lambda \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T [\lambda_1 \cdot XIT_{pt}^+ + \lambda_2 \cdot XIT_{pt}^-] \right] + w\delta \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T (r_{pt}) \cdot (XIT_{pt}') \right] + \\ & w\psi \cdot \left[\sum_{t=1}^T [\psi_1 \cdot YSS_t^u + \psi_2 \cdot YNS_t^u] \right] + w\phi \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T pp_{pt} \cdot XIT_{pt}' \right] \end{aligned} \quad (V)$$

Sujeto a:

$$XE_{cth}^u \leq e_{ct} \quad \forall p; \forall h \quad (30)$$

$$X_{ih}^{u'} \leq [d_{ih}^{u'} (1 + se_t)] \quad \forall p; \forall h \quad (31)$$

$$X_{ih}^{u'} \geq [d_{ih}^{u'} (1 - sd_t)] \quad \forall p | m_p = 0 ; \forall h \quad (32)$$

$$XI_{ph}^u \leq 1 \quad \forall c; \forall t; \forall h \quad (33)$$

$$\sum_{t=1}^T X_{pth}^u = 1 \quad \forall t; \forall h \quad (34)$$

$$\sum_{t=1}^T X_{pth}^u \geq PS_{ph} \quad \forall t; \forall h \quad (35)$$

$$M_{pth}^u \cdot ie_t \leq \sum_{j=\max(h-ie_t, 1)}^{j=h} X_{ptj}^u \quad \forall h \in (ha + 1 \dots H^A) \quad (42)$$

$$\forall p; \forall t$$

$$\sum_{j=\max(h-ie_t, 1)}^{j=h} X_{ptj}^u \leq ie_t \quad \forall h \in (ha + 1 \dots H^A) \quad (43)$$

$$\forall p; \forall t$$

$$it_{pt}^{\min} \leq XIT_{pt} \leq it_{pt}^{\max} \quad \forall p; \forall t \quad (7)$$

$$w\alpha, w\beta, w\lambda, w\delta, w\psi, w\phi \geq 0$$

$$\lambda_1, \lambda_2 \geq 0$$

$$\psi_1, \psi_2 \geq 0$$

7.4.16 Modelo AC (Concatenación básica por categorías)

$$\begin{aligned} \min Z = & w\alpha \cdot \left[\sum_{t=1}^T [pt_t \cdot YNS_t^u] \right] + w\beta \cdot \left[\sum_{h=hc+1}^{H^A} \sum_{c=1}^C \left(\frac{co_c}{Co_{\max}} \right) \cdot \sum_{p=1 | Pc_p=c}^P YI_{ph}^u \right] + \\ & w\lambda \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T [\lambda_1 \cdot XIT_{pt}^+ + \lambda_2 \cdot XIT_{pt}^-] \right] + w\delta \cdot \left[\sum_{t=1}^T \sum_{c=1}^C \left[r'_{ct} \cdot \sum_{p=1 | Pc_p=c}^P XIT_{pt}' \right] \right] + \quad (VI) \\ & w\psi \cdot \left[\sum_{t=1}^T [\psi_1 \cdot YSS_t^u + \psi_2 \cdot YNS_t^u] \right] + w\phi \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T pp_{pt} \cdot XIT_{pt}' \right] \end{aligned}$$

Sujeto a:

$$XE_{cth}^u \leq e_{ct} \quad \forall p; \forall h \quad (30)$$

$$X_{th}^{u'} \leq [d_{th}^{u'} (1 + se_t)] \quad \forall p; \forall h \quad (31)$$

$$X_{th}^{u'} \geq [d_{th}^{u'} (1 - sd_t)] \quad \forall p | m_p = 0; \forall h \quad (32)$$

$$XI_{ph}^u \leq 1 \quad \forall c; \forall t; \forall h \quad (33)$$

$$\sum_{t=1}^T X_{pth}^u = 1 \quad \forall t; \forall h \quad (34)$$

$$\sum_{t=1}^T X_{pth}^u \geq PS_{ph} \quad \forall t; \forall h \quad (35)$$

$$it_{pt}^{\min} \leq XIT_{pt} \leq it_{pt}^{\max} \quad \forall p; \forall t \quad (7)$$

$$w\alpha, w\beta, w\lambda, w\delta, w\psi, w\phi \geq 0$$

$$\lambda_1, \lambda_2 \geq 0$$

$$\psi_1, \psi_2 \geq 0$$

7.4.17 Modelo ACR (Concatenación por categorías y por rango)

$$\begin{aligned} \min Z = & w\alpha \cdot \left[\sum_{t=1}^T [pt_t \cdot YNS_t^u] \right] + w\beta \cdot \left[\sum_{h=hc+1}^{H^A} \sum_{c=1}^C \left(\frac{co_c}{Co_{\max}} \right) \cdot \sum_{p=1 | Pc_p=c}^P YI_{ph}^u \right] + \\ & w\lambda \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T [\lambda_1 \cdot XIT_{pt}^+ + \lambda_2 \cdot XIT_{pt}^-] \right] + w\delta \cdot \left[\sum_{t=1}^T \sum_{c=1}^C \left(r'_{ct} \cdot \sum_{p=1 | Pc_p=c}^P XIT_{pt}' \right) \right] + \quad (VI) \\ & w\psi \cdot \left[\sum_{t=1}^T [\psi_1 \cdot YSS_t^u + \psi_2 \cdot YNS_t^u] \right] + w\phi \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T pp_{pt} \cdot XIT_{pt}' \right] \end{aligned}$$

Sujeto a:

$$XE_{cth}^u \leq e_{ct} \quad \forall p; \forall h \quad (30)$$

$$X_{th}^{u'} \leq [d_{th}^{u'} (1 + se_t)] \quad \forall p; \forall h \quad (31)$$

$$X_{th}^{u'} \geq [d_{th}^{u'} (1 - sd_t)] \quad \forall p | m_p = 0; \forall h \quad (32)$$

$$XI_{ph}^u \leq 1 \quad \forall c; \forall t; \forall h \quad (33)$$

$$\sum_{t=1}^T X_{pth}^u = 1 \quad \forall t; \forall h \quad (34)$$

$$\sum_{t=1}^T X_{pth}^u \geq PS_{ph} \quad \forall t; \forall h \quad (35)$$

$$M_{pth}^u \cdot l \min_t \leq \sum_{j=\max(h-l \min_t, 1)}^{j=h} X_{ptj}^u \quad \forall h \in (ha+1 \dots H^A) \quad \forall p; \forall t \quad (38)$$

$$\sum_{j=\max(h-l \max_{pt}, 1)}^{j=h} X_{ptj}^u \leq l \max_{pt} \quad \forall h \in (ha+1 \dots H^A) \quad \forall p; \forall t \quad (39)$$

$$it_{pt}^{\min} \leq XIT_{pt} \leq it_{pt}^{\max} \quad \forall p; \forall t \quad (7)$$

$$w\alpha, w\beta, w\lambda, w\delta, w\psi, w\phi \geq 0$$

$$\lambda_1, \lambda_2 \geq 0$$

$$\psi_1, \psi_2 \geq 0$$

7.4.18 Modelo ACI (Concatenación por categorías y bloque)

$$\begin{aligned} \min Z = & w\alpha \cdot \left[\sum_{t=1}^T [pt_t \cdot YNS_t^u] \right] + w\beta \cdot \left[\sum_{h=hc+1}^{H^A} \sum_{c=1}^C \left(\left(\frac{co_c}{Co_{\max}} \right) \cdot \sum_{p=1|Pc_p=c}^P YI_{ph}^u \right) \right] + \\ & w\lambda \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T [\lambda_1 \cdot XIT_{pt}^+ + \lambda_2 \cdot XIT_{pt}^-] \right] + w\delta \cdot \left[\sum_{t=1}^T \sum_{c=1}^C \left(r'_{ct} \cdot \sum_{p=1|Pc_p=c}^P XIT_{pt}' \right) \right] + \\ & w\psi \cdot \left[\sum_{t=1}^T [\psi_1 \cdot YSS_t^u + \psi_2 \cdot YNS_t^u] \right] + w\phi \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T pp_{pt} \cdot XIT_{pt}' \right] \end{aligned} \quad (VI)$$

Sujeto a:

$$XE_{cth}^u \leq e_{ct} \quad \forall p; \forall h \quad (30)$$

$$X_{th}^u \leq [d_{th}^u (1 + se_t)] \quad \forall p; \forall h \quad (31)$$

$$X_{th}^u \geq [d_{th}^u (1 - sd_t)] \quad \forall p | m_p = 0 ; \forall h \quad (32)$$

$$XI_{ph}^u \leq 1 \quad \forall c; \forall t; \forall h \quad (33)$$

$$\sum_{t=1}^T X_{pth}^u = 1 \quad \forall t; \forall h \quad (34)$$

$$\sum_{t=1}^T X_{pth}^u \geq PS_{ph} \quad \forall t; \forall h \quad (35)$$

$$M_{pth}^u \cdot ie_t \leq \sum_{j=\max(h-ie_t, 1)}^{j=h} X_{ptj}^u \quad \forall h \in (ha + 1 \dots H^A) \quad (42)$$

$$\forall p; \forall t$$

$$\sum_{j=\max(h-ie_t, 1)}^{j=h} X_{ptj}^u \leq ie_t \quad \forall h \in (ha + 1 \dots H^A) \quad (43)$$

$$\forall p; \forall t$$

$$it_{pt}^{\min} \leq XIT_{pt} \leq it_{pt}^{\max} \quad \forall p; \forall t \quad (7)$$

$$w\alpha, w\beta, w\lambda, w\delta, w\psi, w\phi \geq 0$$

$$\lambda_1, \lambda_2 \geq 0$$

$$\psi_1, \psi_2 \geq 0$$

7.4.19 Compendio de los diferentes modelos multicriterio

Los diferentes modelos que se proponen en esta tesis (tabla 7.1) para abordar el problema de asignación de tareas, y los cuales fueron descritos a lo largo de este capítulo, se resumen en la tabla 7.4. En la tabla se listan la función multicriterio que corresponden a cada uno de los modelos, así como las restricciones aplicables a cada uno de ellos.

Aunque en este apartado nos referimos a los modelos multicriterio, hay que tener en cuenta que se han presentado individualmente las funciones que componen las funciones objetivo multicriterio. Por lo tanto, si se desea abordar el problema de asignación empleando una o algunas de estas funciones de forma independiente también es factible, teniendo presente que si se involucra alguna de las restricciones adicionales, también se tiene que considerar la afectación de las funciones que le corresponden.

Modelo	Función multicriterio	Restricciones aplicables	Restricciones adicionales que están condicionadas	
			Restricción Adicional	Funciones invalidadas ¹
BP	I	(1) a la (7)	(14) →	16a y 20a
BPR		(1) a la (10)		
BPI		(1) a la (7) y de (11) a (13)		
BC	II	(1) a la (7)	(15) →	7 y 18
BCR		(1) a la (10)		
BCI		(1) a la (7) y de (11) a (13)		
RP	III	(7), (24) a la (29)	(44) →	48a y 50a
RPR		(7), (24) a la (29), (36) y (37)		
RPI		(7), (24) a la (29), (40) y (41)		
RC	IV	(7), (24) a la (29)	(46) →	7 y 18
RCR		(7), (24) a la (29), (36) y (37)		
RCI		(7), (24) a la (29), (40) y (41)		
AP	V	(7), (30) a la (35)	(45) →	49a y 51a
APR		(7), (30) a la (35), (38) y (39)		
API		(7), (30) a la (35), (42) y (43)		
AC	VI	(7), (30) a la (35)	(47) →	18 y 7
ACR		(7), (30) a la (35), (38) y (39)		
ACI		(7), (30) a la (35), (42) y (43)		

Tabla 7.4 Funciones objetivo y restricciones que involucra cada uno de los diferentes modelos propuestos.

7.5. Nomenclatura

7.5.1 Índices

p	Para las personas	($p=1 \dots P$)
c	Para las categorías	($c=1 \dots C$)
h	Para el intervalos	($h=1 \dots H$)
t	Para las tareas	($t=1 \dots T$)

7.5.2 Datos y parámetros

7.5.2.1 Básicos

¹ Las funciones invalidadas son aquellas que son anuladas al adicionar alguna restricción en la búsqueda de la asignación óptima. Para detalles en apartados 7.1.3.2 y 7.1.3.3

P	Número total de personas	
C	Número total de categorías	
H	Número de intervalos que comprende el horizonte de planificación para el que se realizar la asignación	
T	Número total de tipos de tareas	
Pc_p	Categoría a la que pertenece la persona $p(\forall p)$.	$[1, C]$
NP_c	Cantidad total de personas que pertenecen a la categoría $c(\forall c)$.	$[0, P]$
		$NP_c = \sum_{pc_p=c} pc_p \quad \forall p \in P$
$R = [r_{pt}]$	Matriz que indica las tareas que puede realizar cada persona. Para el caso de rendimiento uniforme los valores serán binarios, dando un valor de 1 si la persona p puede realizar la tarea $t(\forall t)$ y 0 en caso contrario. Para el caso en que se tiene rendimiento no uniforme, el rendimiento de la persona p en la tarea t puede tomar un valor entre 0 y 1, donde 1 es el máximo rendimiento. $(\forall p)$ y $(\forall t)$	$\sum_{t=1}^T r_{pt} > 0$ $\sum_{p=1}^P r_{pt} > 0$
$R' = [r'_{ct}]$	Matriz que indica las tareas que puede realizar cada categoría. Para el caso de rendimiento uniforme los valores serán binarios, dando un valor de 1 si el personal de la categoría c puede realizar la tarea t y 0 en caso contrario. Para el caso en que se tiene rendimiento no uniforme, el rendimiento del personal de la categoría c para la tarea t puede tomar un valor entre 0 y 1, donde 1 es el máximo rendimiento. $(\forall c)$ y $(\forall t)$	$\sum_{t=1}^T r'_{ct} > 0$ $\sum_{c=1}^C r'_{ct} > 0$
$D = [d_{th}]$	Matriz de personal necesario para la tarea $t(\forall t)$ en el intervalo $h(\forall h)$.	

$N = [n_t]$	Vector que indica la naturaleza de la tarea, es decir el nivel de capacidad necesaria para realizar la tarea $t(\forall t)$. Los valores que puede tomar están comprendidos entre 0 a 1, donde 1 representa que se requiriere de toda la capacidad de personal para desarrollar la tarea t si esta es asignada.	
$D' = [d'_{th}]$	Matriz de demanda de personal equivalente necesario en la tarea $t(\forall t)$ en el intervalo $h(\forall h)$. El cual es definido en base a la cantidad de personal necesario en la tarea t y la naturaleza real de dicha tarea.	$d'_{th} = d_{th} \cdot n_t$
$M = [m_p]$	Matriz binaria que indica la polivalencia del personal $p(\forall p)$. Donde toma un valor de 1 para el caso en que el personal es compatible y de 0 en caso contrario.	$\{0,1\}$
$MC = [mc_c]$	Matriz binaria que indica la polivalencia del personal de la categoría $c(\forall c)$. Donde toma un valor de 1 para el caso en que la categoría sea compatible y de 0 en caso contrario.	$\{0,1\}$
$CP = [cp_p]$	Vector que indica la prioridad de cada persona $p(\forall p)$ respecto al conjunto del personal P.	$[0, \infty]$
$CO = [co_c]$	Vector de prioridad del personal de cada categoría $c(\forall c)$ respecto a las otras categorías.	$[0, \infty]$
$SD = [sd_t]$	Vector de porcentaje que indica el nivel de escasez de personal permitido en la tarea $t(\forall t)$.	$[0,1]$
$SD' = [sd'_t]$	Vector de porcentaje que indica el nivel de escasez de personal equivalente permitido en la tarea $t(\forall t)$.	$[0,1]$

	$sd'_{th} = sd_t \cdot d'_{th} \quad \forall t; \forall h$	
$SE = [se_t]$	Vector de porcentaje que indica el nivel de exceso de personal permitido por tarea $t(\forall t)$.	[0,1]
$SE' = [se'_t]$	Vector de porcentaje que indica el nivel de exceso de personal equivalente permitido por tarea $t(\forall t)$.	[0,1]
	$se'_{th} = se_t \cdot d'_{th} \quad \forall t; \forall h$	
$IE = [ie_t]$	Vector de intervalos consecutivos deseados que se ha de realizar la tarea $t(\forall t)$ una vez asignada antes de pasar a otra tarea.	
$IT = [it_{pt}]$	Matriz de proporción ideal de tiempo de dedicación a lo largo del horizonte de asignación en cada tarea $t(\forall t)$ para la persona $p(\forall p)$.	$\sum_{t=1}^T it_{pt} = 1$
$ITC = [itc_{ct}]$	Matriz de proporción ideal de tiempo de dedicación a lo largo del horizonte de asignación en cada tarea $t(\forall t)$ por la categoría $c(\forall c)$.	$\sum_{t=1}^T itc_{ct} = 1$
TOL	Tolerancia general permitida para alejarse de la proporción ideal de tiempo de dedicación a cada tarea $t(\forall t)$. Esta tolerancia no depende de las tareas.	[0,1]
$IT^{\min} = [it_{pt}^{\min}]$	Matriz de proporción mínima de tiempo que una persona $p(\forall p)$ ha de dedicar a una tarea $t(\forall t)$ a lo largo del horizonte de asignación.	[0,1]
	$it_{pt}^{\min} = it_{pt} \cdot (1 - tol) \quad \forall p; \forall t$	
$IT^{\max} = [it_{pt}^{\max}]$	Matriz de proporción máxima de tiempo que una persona $p(\forall p)$ ha de dedicar a una tarea $t(\forall t)$ a lo largo del horizonte de asignación.	[0,1]

$ITC^{\min} = [itc_{ct}^{\min}]$	$it_{pt}^{\max} = it_{pt} \cdot (1 + tol) \quad \forall p; \forall t$ <p>Matriz de proporción mínima de tiempo que una persona de la categoría $c(\forall c)$ ha de dedicar a una tarea $t(\forall t)$ a lo largo del horizonte.</p>	[0,1]
$ITC^{\max} = [itc_{ct}^{\max}]$	$itc_{ct}^{\min} = itc_{ct} \cdot (1 - tol) \quad \forall p; \forall t$ <p>Matriz de proporción máxima de tiempo que una persona de la categoría $c(\forall c)$ ha de dedicar a una tarea $t(\forall t)$ a lo largo del horizonte de asignación.</p>	[0,1]
$LMIN = [lmin_t]$	$itc_{ct}^{\max} = it_{ct} \cdot (1 + tol) \quad \forall p; \forall t$ <p>Vector que indica los intervalos consecutivos mínimos que se ha de realizar la misma tarea $t(\forall t)$.</p>	[0, H]
$LMAX = [lmax_t]$	<p>Vector que indica los intervalos consecutivos máximos que se ha de realizar la misma tarea $t(\forall t)$.</p>	[0, H]
$E = [e_{ct}]$	<p>Matriz con la cantidad máxima de personas de cada categoría $c(\forall c)$ que se puede asignar simultáneamente a cada tipo de tarea $t(\forall t)$.</p>	$e_{ct} \leq P_c$
$PP = [pp_{pt}]$	<p>Matriz de preferencia que indica la proporción de tiempo que la persona $p(\forall p)$ desearía trabajar en cada tarea $t(\forall t)$.</p>	$\sum_{t=1}^T pp_{pt} = 1$
$PT = [pt_t]$	<p>Vector que indica la prioridad de satisfacción de la tarea $t(\forall t)$. Es decir cuando no se tiene la capacidad de satisfacer la demanda de todas las tareas, indica cual de ellas ha de ser cubierta primero, o bien a cual se recomienda asignar más personal.</p>	$\sum_{t=1}^T pt_t = 1$
Tt_h	<p>Cantidad de tareas a realizar en el intervalo de tiempo $h(\forall h)$.</p>	$Tt_h = \sum_{t=1}^T d_{th}$

$PS = [ps_{ph}]$ Matriz binaria que indica si el personal $p(\forall p)$ está presente o ausente en cada intervalo $h(\forall h)$. $\sum_{t=1}^T ps_{th} \leq P$

7.5.2.2 Datos y parámetros adicionales para reasignación/concatenación

ha		Cantidad de intervalos que han sido asignados hasta el momento en que se realiza la reasignación. (1...ha)
hc		Cantidad de intervalos que han sido asignados hasta el momento en que se realiza concatenación (1...hc)
H^A	$H^A = ha + hc$	Número total de intervalos concatenados.
X_{pth}^a	Reasignación: $\forall p; \forall t; \forall h \in 1...ha$ Concatenación: $\forall p; \forall t; \forall h \in 1...hc$	Matriz binaria que toma valor de {0,1} 1 cuando el personal p esta asignado a la tarea t en el intervalo h y toma valor de 0 en caso contrario.
$aPS = [aps_{ph}]$	Reasignación $\forall p; \forall h \in 1...ha$ Concatenación $\forall p; \forall h \in 1...hc$	Matriz binaria que indica los intervalos en que el personal esta presente, dando valor de 1 cuando esta presente el personal p en el intervalo h y 0 en caso contrario. [0,∞]
X_{pth}	$\forall p; \forall t; \forall h \in 1...hc$	Matriz binaria que toma valor de {0,1} 1 cuando el personal p esta asignado a la tarea t en el intervalo h y toma valor de 0 en caso contrario.

7.5.3 Variables del modelo

En este apartado se enumeran las variables que considera el modelo matemático para abordar el problema de asignación (**B**), reasignación (**R**) y concatenación (**A**), la diferencia como ya se ha indicado anteriormente es el tamaño de h . donde para asignación va de $h=1\dots H$, reasignación $h=ha+1\dots H$ y concatenación $h=hc+1\dots H^A$

B / R / A

$X_{pth} / X_{pth}^r / X_{pth}^u$	$\{0,1\}$	Variable binaria que toma valor de 1 si la persona $p(\forall p)$ ha sido asignada a tarea $t(\forall t)$ en el intervalo h , y 0 en caso contrario.
$XI_{ph} / XI_{ph}^r / XI_{ph}^u$	$[0,1]$	Indica la carga de trabajo equivalente asignada a cada persona $p(\forall p)$ en cada intervalo de tiempo h .
$X'_{th} / X''_{th} / X'''_{th}$	$[0,P]$	Cantidad de total de personal equivalente asignado a realizar la tarea t en el instante h . $\forall t$
XIT_{ph}	$[0,1]$	Valor de proporción de tiempo dedicado por la persona $p(\forall p)$ a la tarea $t(\forall t)$ horizonte H .
XIT'_{ph}	$[0,1]$	Valor de proporción de tiempo no dedicado por la persona $p(\forall p)$ a la tarea $t(\forall t)$ a lo largo de H .
$XE_{cth} / XE^r_{cth} / XE^u_{cth}$	$[0, Pc_c]$	Cantidad de personal de cada categoría $c(\forall c)$ asignado a la tarea $t(\forall t)$ en el intervalo h .
$d_{th}^+ / d_{th}^{r+} / d_{th}^{u+}$ $d_{th}^- / d_{th}^{r-} / d_{th}^{u-}$	$[0,\infty]$	Exceso/escasez de personal equivalente asignado a la tarea $t(\forall t)$ en el intervalo h .
XIT_{pt}^+	$[0,1]$	Valor de la proporción del tiempo, que la persona $p(\forall p)$ dedica por encima de la proporción del tiempo ideal de dedicación a la tarea $t(\forall t)$.

XIT_{pt}^-	$[0,1]$	Valor de la proporción del tiempo, que la persona $p(\forall p)$ dedica por debajo de la proporción del tiempo ideal de dedicación a la tarea $t(\forall t)$.
$YI_{ph} / YI_{ph}^r / YI_{ph}^u$	$[0,1]$	Cantidad de capacidad de la persona $p(\forall p)$ no utilizada en el intervalo h .
$YNS_t / YNS_t^r / YNS_t^u$	$[0,1]$	Valor del nivel de escasez de capacidad para satisfacer la tarea $t(\forall t)$ en el horizonte H.
$YSS_t / YSS_t^r / YSS_t^u$	$[0,1]$	Valor del nivel de exceso de capacidad asignado a la tarea $t(\forall t)$ en horizonte H.
CO_{\max}	$[0,\infty]$	Variable que adquiere la prioridad máxima de entre las diferentes categorías del personal.
$M_{pth} / M_{pth}^r / M_{pth}^u$	$\{0,1\}$	Variable auxiliar binaria, que adopta valor de 1 si la persona $p(\forall p)$ ha empezado a realizar la tarea $t(\forall t)$ en el intervalo h y 0 en caso contrario.

CAPÍTULO 8.

EXPERIENCIA COMPUTACIONAL

Como se ha comentado anteriormente, la situación actual de mercado, origina que cada día las organizaciones busquen una mejor utilización de los recursos humanos tal que permitan cubrir sus necesidades. Un factor que se analiza en esta tesis doctoral es la variedad de problemas que se pueden presentar en el ambiente de asignación de tareas, en todas ellas las organizaciones quieren obtener la utilización óptima de los recursos humanos de los que dispone.

Como se puede visualizar en el capítulo 5, debido a la cantidad de características consideradas la diversidad de problemas a tratar es muy extensa, y por tanto, se ha tomado una muestra representativa de los casos a experimentar que nos permitan obtener una visión general de la diversidad de situaciones existente y los resultados que se pueden obtener con la metodología propuesta en esta tesis doctoral.

En este capítulo se incluye la experimentación de un caso real que hemos llamado *ESERVICIO* y un caso hipotético, definiendo para ambos, los parámetros que involucran, seguido por los ejemplos incluidos en la experimentación, la definición de los datos empleados, los resultados obtenidos y su respectivo análisis. Además la descripción del software y equipo utilizados.

Para realizar las pruebas del modelo, se ha utilizado un tiempo máximo de **900** segundos en la búsqueda de la solución óptima de cada caso experimentado.

8.1. Experimento I: Caso Real (ESERVICIO)

Se ha tenido en cuenta la experimentación de un caso real, para validar el funcionamiento del modelo en un entorno real que nos permita probar su efectividad.

El caso elegido para el estudio es el presentado por Ojeda (2004); dicho trabajo hace alusión a la asignación de tareas semanales para personal de un centro de servicio. Los datos reales obtenidos corresponden a varias semanas de dos centros de servicio, ubicados en calles céntricas de dos grandes ciudades. Partiendo de los datos que le fueron proporcionados, los cuales se pueden considerar significativos según su corroboración con expertos sindicales, hizo la preparación del banco de datos, y es el que se utiliza en esta experimentación.

Considerando las características que se presentan en este caso, para llevar a cabo la asignación del personal a las tareas se ha tenido que hacer la incorporación de un criterio más a la función multicriterio evaluadora. El criterio incorporado se refiere a la satisfacción de capacidad mínima de las diferentes tareas. Además del criterio agregado, se han tenido que omitir tres de los criterios comprendidos en el modelo original, debido a la exclusión de algunas de las características en la organización de la que se toman los datos de partida.

La función de satisfacción de capacidad mínima se refiere a la cantidad de personal mínimo, que ha de ser asignado en cada tarea según los requerimientos de esta organización. El modelo que se propone en esta tesis, parte del hecho, que la capacidad disponible es un parámetro fijo, donde se tiene la capacidad disponible en cada uno de los intervalos de tiempo (no considera la incorporación adicional de personal). En cambio el estudio de donde se extrajeron los datos de partida del caso *ESERVICIO*, permite añadir personal, ya que no siempre se dispone de la capacidad de personal que permita satisfacer el requerimiento de capacidad mínima de cada una de las tareas (tabla 8.1). Se ha hecho pues un ajuste de los requerimientos de la organización, la satisfacción de capacidad de mínima en lugar de presentarla como una restricción se considera como otro criterio más de evaluación.

Ejemplar [tareas- categorías]	Cantidad de personal (P)			
	25	50	100	150
[2,2]				
[3,2]				NCM
[3,3]	NCM	NCM	NCM	NCM
[4,2]	NCM			
[4,3]	NCM			
[4,4]	NCM	NCM	NCM	NCM

NCM= no dispone de capacidad mínima necesaria.

Tabla 8.1 Indica los ejemplares en que no se dispone de la capacidad mínima necesaria.

A continuación se presenta la función objetivo planteada para este caso, seguido por la presentación, donde se describe, la tipología de ejemplar según lo visto en el capítulo 5, los datos para cada uno de los parámetros involucrados, la ponderación de los criterios y por último los resultados obtenidos.

8.1.1. Definición de función objetivo

Para evaluar este caso, la función objetivo multicriterio original BC (capítulo 7), ha sido adaptada y queda de la siguiente forma.

$$\begin{aligned} \min Z = & w\delta \cdot \left[\sum_{t=1}^T \sum_{c=1}^C \left(r'_{ct} \cdot \sum_{p=1}^P XIT'_{pt} \right) \right] + w\psi \cdot \left[\sum_{t=1}^T [\psi_1 \cdot YSS_t + \psi_2 \cdot YNS_t] \right] + \\ & w\phi \cdot \left[\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T pp_{pt} \cdot XIT'_{pt} \right] + w\psi_{\min} \cdot \left[\sum_{t=1}^T [\psi_1 \cdot YSS_t^{\min} + \psi_2 \cdot YNS_t^{\min}] \right] \\ & w\delta, w\psi, w\phi, w\psi_{\min} \geq 0 \\ & \psi_1, \psi_2 \geq 0 \end{aligned}$$

En la función los tres primeros términos son iguales a los del modelo BC, el primero representa la utilización del personal en las tareas para las que tenga mejor rendimiento, el segundo representa la satisfacción de la capacidad ideal, y el tercero se refiere a la asignación que maximice la preferencia del personal a las tareas. Como puede verse en la función objetivo, se ha añadido un cuarto término, el de satisfacción de capacidad mínima.

8.1.2. Definición de los parámetros

Un aspecto a destacar es que, en el caso *ESERVICIO* no se presentan todas las características que se describen en el capítulo de clasificación, por ser ajenas a la organización de la que se obtuvo los datos para llevar a cabo esta

experimentación. Por lo tanto, no todas las características planteadas en esta tesis se encuentran representadas en la experimentación de este caso *ESERVICIO*. Las características excluidas se listan en la tabla 8.2.

Características excluidas
Prioridad del personal
Preferencia de las tareas
Trabajo continuo en las tareas
Escasez y exceso de personal
Intervalos ideales a cada tarea
Tolerancia
Personal máximo por tarea
Reasignación

Tabla 8.2. Listado de características excluidas

8.1.3. Definición de la tipología del caso *ESERVICIO*

Teniendo en cuenta que no todas las características están presentes en este caso, su identificación de tipología descriptiva es:

AS-P-D-IND-MOF-HO-IN-AP-AU-SI.

La tipología nos indica que es un problema de asignación, con personal polivalente, demanda determinista, donde las tareas son independientes. El personal es incompatible y con capacidad independiente. La capacidad disponible es aproximada a la demanda y las tareas han de ser realizadas en el instante en que se demandan. Además se consideran las preferencias del personal a las tareas.

8.1.4. Definición de datos

Los datos para los diferentes parámetros que se presentan en esta experimentación se describen a continuación.

- El número de categorías en que se encuentra clasificado el personal que conforman la organización son: $C = [2, 3 \text{ y } 4]$.
- El número de tipos de tareas es $T = [2, 3 \text{ y } 4]$.
- El horizonte de asignación corresponde a una semana de trabajo, donde se trabaja de lunes a sábado con un horario de 7:00 a 22:00. Dicho horizonte

se divide en intervalos de 1 hora de actividad, por lo tanto se tiene un valor de $H=90$.

- El personal que dispone la organización en tres de sus sucursales, son consideradas como muestras para tener una representación de la aplicación del modelo con diferente tamaño de personal. Se Realiza una experimentación con diferentes tamaños, tomando cuatro el valor de $P=[25, 50, 100, 150]$ personas.
- La demanda de capacidad de las tareas, a lo largo del horizonte de asignación está contenida en la matriz de demanda, que se encuentra en el anexo (tablas A.5 a la A.28).
- Se dispone de un personal con polivalencia total, por lo que cada pareja trabajador-tarea tiene un valor de 1.
- Para facilitar el manejo de datos, a partir del número de categorías y de los tipos de tareas presentes en este caso, se presenta en la tabla 8.3 la tipología de casos a partir de la combinación de ambos datos (tareas y categorías). Esta identificación es utilizada a lo largo del capítulo para hacer referencia al tipo de caso que se esté tratando.(Del I al IX reservados para el caso hipotético)

Tipos de tareas (T)	Cantidad de categorías (C)		
	2	3	4
2	X		
3	XI	XII	
4	XIII	XIV	XV

Tabla 8.3. Tipología del caso

- La cantidad de personal disponible de cada categoría, figura en las tablas de 8.4 a la 8.6, las cuales están configuradas tomando como base el valor de P y la tipología del caso (tabla 8.3) al que se aplican dichos valores. La categoría a la que pertenece cada una de las personas se encuentra detallada en las tablas A.1 a la A.4 que están en el anexo.

Pc	Cantidad de personas de cada categoría			
	1c	2c	3c	4c
Ejemplares				
X	11	14		
XI, XIII	7	12	6	
XII, XIV, XV	1	4	7	6

Tabla 8.4. Cantidad de personal por categoría para $P=25$

Pc	Cantidad de personas de cada categoría			
	Ejemplares	1c	2c	3c
X	19	31		
XI, XIII	13	22	15	
XII, XIV, XV	7	12	16	15

Tabla 8.5. Cantidad de personal pro categoría para P=50

Pc	Cantidad de personas de cada categoría			
	Ejemplares	1c	2c	3c
X	40	60		
XI, XIII	29	38	33	
XII, XIV, XV	17	23	27	33

Tabla 8.6. Cantidad de personal por categoría para P=100

Pc	Cantidad de personas de cada categoría			
	Ejemplares	1c	2c	3c
X	59	91		
XI, XIII	43	58	49	
XII, XIV, XV	28	31	42	49

Tabla 8.7. Cantidad de personal por categoría para P=150

- El rendimiento del personal, al ejecutar cada una de las tareas, se describe en las tablas de la 8.8 a la 8.13. Donde se muestra una tabla de rendimiento para cada una de las tipologías experimentadas en este caso *ESERVICIO*.

R _{ct}	Tareas	
Categorías	1t	2t
1c	1	0,5
2c	0,5	1

R _{ct}	Tareas		
Categorías	1t	2t	3t
1c	1	0,8	0,1
2c	0,8	1	1

Tabla 8.9. Rendimiento del personal para tipología XI

R _{ct}	Tareas			
Categorías	1t	2t	3t	4t
1c	1	0,8	0,5	0,1
2c	0,8	1	1	1

Tabla 8.10. Rendimiento del personal para tipología XIII

R_{ct}	Tareas		
Categorías	1t	2t	3t
1c	1	0,8	0,1
2c	0,5	1	0,8
3c	0,1	0,5	1

Tabla 8.11. Rendimiento del personal para tipología XII

R_{ct}	Tareas			
Categorías	1t	2t	3t	4t
1c	1	0,8	0,5	0,1
2c	0,5	1	0,8	0,5
3c	0,1	0,5	1	0,8

Tabla 8.12. Rendimiento del personal para tipología XIV

R_{ct}	Tareas			
Categorías	1t	2t	3t	4t
1c	1	0,8	0,5	0,1
2c	0,5	1	0,8	0,5
3c	0,1	0,5	1	0,8
4c	0,1	0,1	0,5	1

Tabla 8.13. Rendimiento del personal para tipología XV

- el personal que tiene la organización es de tipo incompatible, por lo que, el personal solo puede realizar una tarea de forma simultánea lo que le da un valor $m_p=0$.
- La naturaleza de las tareas, es de tipo homogénea, donde cada una de las tareas presentes tienen un valor de $n_t=1$ para este parámetro.
- Los datos para el parámetro de la presencia de personal se encuentran en las tablas A.29 a la A.41 expuestas en el anexo, donde se incluye una matriz binaria PS_{ph} que indica los intervalos en que se encuentra presente el personal a lo largo del horizonte, con un valor $ps_{ph}=1$ cuando la persona p esta presente en ese intervalo h .
- La preferencia, por parte de la organización, para asignar al personal a las diferentes tareas se detalla en las tablas 8.14 a la 8.19, donde cada una de las tablas corresponde a cada una tipología de las consideradas en esta experimentación.

PP_{ct}	Tareas	
Categorías	1t	2t
1c	1	0,5
2c	0,5	1

Tabla 8.14. Preferencia del personal para tipología X

PP_{ct}	Tareas		
Categorías	1t	2t	3t
1c	1	0,8	0,2
2c	0,5	1	0,5

Tabla 8.15. Preferencia del personal para tipología XI

PP_{ct}	Tareas			
Categorías	1t	2t	3t	4t
1c	1	0,8	0,5	0,2
2c	0,5	1	0,8	0,5

Tabla 8.16. Preferencia del personal para tipología XIII

PP _{ct}	Tareas		
Categorías	1t	2t	3t
1c	1	0,4	0,2
2c	0,5	1	0,5
3c	0,2	0,6	1

Tabla 8.17. Preferencia del personal para tipología XII

PP _{ct}	Tareas			
Categorías	1t	2t	3t	4t
1c	1	0,8	0,5	0,2
2c	0,5	1	0,8	0,5
3c	0,2	0,5	0	0,8

Tabla 8.18. Preferencia del personal para tipología XIV

PP _{ct}	Tareas			
Categorías	1t	2t	3t	4t
1c	1	0,8	0,5	0,2
2c	0,8	1	0,8	0,5
3c	0,4	0,6	1	0,8
4c	0,2	0,5	0,6	1

Tabla 8.19. Preferencia del personal para tipología XV.

8.1.5. Ponderación de función objetivo

Como se fue descrito en el apartado 8.1, algunas de las características consideradas en el modelo original (*BS*), no se presentan en este caso, los tres criterios que se vinculan a esas características excluidas, quedan descartados de la función objetivo del modelo. Dicho esto, solo serán evaluados los ejemplares con cuatro criterios (tres de los seis criterios que contiene el modelo original propuesto en esta tesis doctoral y el agregado sobre la satisfacción de capacidad mínima), para los cuales, los valores de ponderación para estos cuatro componentes de la función objetivo están expuestos en la tabla 8.20, donde cada columna corresponde a un conjunto de valores utilizados en una experimentación. Han sido consideradas once ponderaciones diferentes.

Parámetro	Valores										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$w\delta$	1	10	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$w\psi$	1	1	1	10	1	100	1	100	0	10	0
$w\phi$	1	1	10	1	1	1	1	1	1	1	1
$w\psi_{min}$	1	1	1	1	10	1	100	0	100	0	10
ψ_1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ψ_2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Tabla 8.20. Valores de ponderación de función objetivo

8.1.6. Resultados obtenidos

Se resume en este apartado los resultados obtenidos para el caso real (*ESERVICIO*) experimentado, así como su respectivo análisis; lo que permite exponer una visión del comportamiento del modelo en la aplicación para un caso específico existente, el cuál representa las necesidades de una organización multinacional de tiendas.

Se ha realizado la experimentación de 264 ejemplares del caso. Los datos fueron proporcionados por la organización y presentados en el trabajo de Ojeda (Ojeda, 2004). Se dispone de una combinación de distintas opciones para la cantidad de personal, tipos de tareas y categorías. Además se debe añadir las diferentes ponderaciones utilizadas para la función objetivo.

En las tablas A.42 a la A.52 que se hallan en el anexo, se listan los tiempos de ejecución en los que se ha podido encontrar una solución óptima para los ejemplares experimentados, así como también el tiempo utilizado para aquellos en que no fue posible encontrar la solución óptima en el tiempo límite (900 segundos), pero sin embargo se consiguió una solución factible, indicando el rango de tolerancia respecto a la cota en que se ubica la solución encontrada para dichos ejemplares.

En la tabla 8.21, se muestra el porcentaje de cada tipo de solución obtenida (óptima o factible), en un tiempo límite que como se ha dicho anteriormente es de 900 segundos. En dicha tabla se establecen los valores porcentuales, acorde a la ponderación aplicada a la función objetivo para los diferentes criterios; por lo tanto, se especifica para cada una de las ponderaciones, la proporción de la cantidad de casos en que se ha podido obtener una solución óptima o bien la proporción de casos en que la solución hallada se encuentra en un determinado margen de tolerancia respecto a la óptima.

En dicha tabla, la primera columna indica al tipo de ponderación aplicada a la función objetivo, cada fila muestra un tipo de ponderación experimentada, conformada cada una de ellas por los cuatro valores aplicados a sus respectivos criterios que forman la función de evaluación. En primera posición de los valores de ponderación, se sitúa $w\delta$ que es el valor aplicado al criterio que busca la solución que aproveche mejor el rendimiento del personal para realizar las tareas, en segunda posición se encuentra $w\psi$ que es el valor aplicado al criterio evaluador que trata que sea mínima la diferencia entre la capacidad ideal y la capacidad asignada a las tareas, la siguiente casilla incluye los valores de ponderación $w\phi$ para la función que busca que sean consideradas las preferencias deseadas por el personal, y por último $w\psi_{min}$ los valores situados en la cuarta posición de esta columna,

corresponden al valor aplicado al criterio que busca una satisfacción muy cercana respecto a la capacidad mínima demandada de cada una de las tareas.

Seguida de esta columna de ponderación (tabla 8.21), se encuentran cinco columnas más, en las cuales cada una de ellas representa el tipo de solución obtenida (óptima o factible); donde se contabiliza las soluciones de cada caso, representando la cuantía (en porcentaje) del tipo de solución obtenida. Los valores porcentuales son considerando como referencia de la cantidad de total ejemplares realizados con cada ponderación (24 casos).

La primera de estas cinco columnas hace referencia a la obtención de una solución óptima, en segunda posición se sitúa la columna que contabiliza aquellos ejemplares en los que se obtuvo una solución factible con una diferencia menor o igual a un 5% de diferencia respecto al valor cota, en tercera posición se listan los valores porcentuales que representan la cantidad de soluciones factibles que guardan una diferencia de entre un 5% y 10% respecto a la cota, seguida de está el listado de los porcentajes obtenidos con la casuística de cada ponderación en que se consiguió una solución factible con una diferencia respecto a la cota de un máximo del 15% y por último se contabilizan aquellos casos en que dependiendo de la ponderación aplicada a los criterios de la función objetivo, sólo se pudo obtener una solución factible pero con una diferencia mayor al 15% respecto al valor cota.

Ponderación de función objetivo				Obtenida solución óptima	Solución ≤ 5% tolerancia	Solución ≤ 10% tolerancia	Solución ≤ 15% tolerancia	Solución ≥ 15% tolerancia
$w\delta$	$w\psi$	$w\phi$	$w\psi_{min}$					
1	1	1	1	100%				
1	0	1	10	83,33%	16,66%			
1	10	1	0	41,66%	58,33%			
1	1	1	10	79,16%	20,83%			
10	1	1	1	100%				
1	10	1	1	66,66%	33,33%			
1	1	10	1	100%				
1	0	1	100	16,66%	62,50%	12,50%	4,16%	4,16%
1	100	1	0	16,66%	75,00%	8,33%		
1	1	1	100	16,66%	62,50%	8,33%	8,33%	4,16%
1	100	1	1	16,66%	70,83%	12,50%		

Tabla 8.21. Clasificación de las soluciones acorde a la ponderación aplicada a los criterios.

Describimos a continuación el contenido de la tabla 8.22, en la que se hace una clasificación de las soluciones obtenidas (dentro del tiempo límite), efectuando el cálculo porcentual conforme a la tipología de los ejemplares (tabla 8.3). Al igual que en la tabla 8.22, se clasifican los tipos de soluciones obtenidas, pero ahora agrupándolas conforme a la cantidad total de tipos de tareas (T) y tipos categorías (C) que involucran los casos. Por tanto en la

primera columna de esta tabla, se lista en sus filas, las tipologías que se tienen en cada caso (8.22), indicando la cantidad de tipos de tareas y de tipos de categoría diferentes. Cada fila integra a 44 ejemplares, formados estos a partir de los diferentes valores de H (apartado 8.4) y de las 11 diferentes ponderaciones aplicadas en la función objetivo.

Las cinco columnas siguientes de la tabla, listan el tipo de solución obtenida, indicando en cada columna el valor porcentual del tipo de soluciones de los casos (de forma análoga a la tabla 8.21). En esta tabla (8.22) se puede observar como afecta la tipología del ejemplar en la obtención de su solución.

Tipo de ejemplar		Obtenida solución óptima	Solución $\leq 5\%$ tolerancia	Solución $\leq 10\%$ tolerancia	Solución $\leq 15\%$ tolerancia	Solución $\geq 15\%$ tolerancia
T	C					
2	2	100%				
3	2	47,72%	47,72%	4,54%		
3	3	59,09%	31,81%	6,61%	2,27%	
4	2	40,90%	50,00%	9,09%		
4	3	38,63%	54,54%	2,27%		4,54%
4	4	43,18%	57,27%	4,54%		

Tabla 8.22. Clasificación de las soluciones acorde al tipo de tipología.

La tabla 8.23 además de agrupar los resultados conforme a la tipología de ejemplar (como es el caso de la tabla 8.22), nos da el cálculo del porcentaje de cada tipo de solución considerando también la cantidad de personal (P) que se involucra en el caso experimentado. Esta tabla (8.23) esta organizada de la misma manera que la tabla anterior, la diferencia es que se ha agregado una columna más (posición dos en la tabla), la cuál hace referencia dentro de cada tipología a la cantidad de personal (P) de los casos. Las demás columnas listan los tipos de resultados del ejemplar de la misma manera que las tablas anteriores (8.21 y 8.22), pero calculando el porcentaje en base a una cantidad de 11 casos por fila. Aquí se puede observar como hay dependencia entre la cantidad total de personal y las diferentes categorías que se involucran.

Se presenta una última clasificación de los tipos de solución obtenidos (óptimas o factibles) de los ejemplares del caso experimentado, la cual consta en tabla 8.24 que aparece a más adelante. En esta tabla se muestra el valor porcentual de cada tipo de soluciones obtenidas, tomando como referencia para dicho cálculo, la cantidad de casos de esta casuística (66) que involucran la misma cantidad de personal (P). La tabla 8.24 presenta el mismo ordenamiento de datos que las tabla 8.21, la única diferencia, es que en esta tabla (8.24) la primera columna indica la cantidad de personal (P) al que corresponden los valores porcentuales de cada fila calculados. Con esta tabla lo que se pretende es mostrar como varía el tipo de solución lograda,

conforme aumenta la cantidad de personal involucrada en el ejemplar experimentado.

Ejemplares del caso			Cantidad de personal	Obtenida solución óptima	Solución ≤ 5% tolerancia	Solución ≤ 10% tolerancia	Solución ≤ 15% tolerancia	Solución ≥ 15% tolerancia
Tipología	T	C						
X	2	2	25	100%				
			50	100%				
			100	100%				
			150	100%				
XI	3	2	25	45,45%	36,36%	18,18%		
			50	45,45%	54,54%			
			100	45,45%	54,54%			
			150	54,54%	45,45%			
XII	3	3	25	45,45%	36,36%	9,09%	9,09%	
			50	63,63%	18,18%	18,18%		
			100	63,63%	36,36%			
			150	63,63%	36,36%			
XIII	4	2	25	27,27%	54,54%	18,18%		
			50	45,45%	36,36%	18,18%		
			100	45,45%	54,54%			
			150	45,45%	54,54%			
XIV	4	3	25	27,27%	54,54%			18,18%
			50	36,36%	54,54%	9,09%		
			100	45,45%	54,54%			
			150	45,45%	54,54%			
XV	4	4	25	36,36%	45,45%		18,18%	
			50	27,27%	72,72%			
			100	45,45%	54,54%			
			150	63,63%	36,36%			

Tabla 8.23. Clasificación de las soluciones acorde al tipología y cantidad de personal.

Cantidad de personal	Obtenida solución óptima	Solución ≤ 5% tolerancia	Solución ≤ 10% tolerancia	Solución ≤ 15% tolerancia	Solución ≥ 15% tolerancia
25	46,97%	37,88%	7,58%	4,55%	3,03%
50	53,03%	39,39%	7,58%		
100	57,58%	42,42%			
150	62,12%	37,88%			

Tabla 8.24. Clasificación las soluciones acorde a la cantidad de personal.

En el gráfico de la figura 8.1 se representa el número de iteraciones necesarias para encontrar la solución óptima de un ejemplar. Se grafican las diferentes tipologías del caso con tres diferentes tipos de ponderación aplicadas en la función objetivo y la ubicación acorde a los cuatro diferentes valores de P considerados en la experimentación. La gráfica nos muestra la tendencia del

modelo para llegar a una solución óptima y además como afecta la ponderación en el número de iteraciones necesarias.

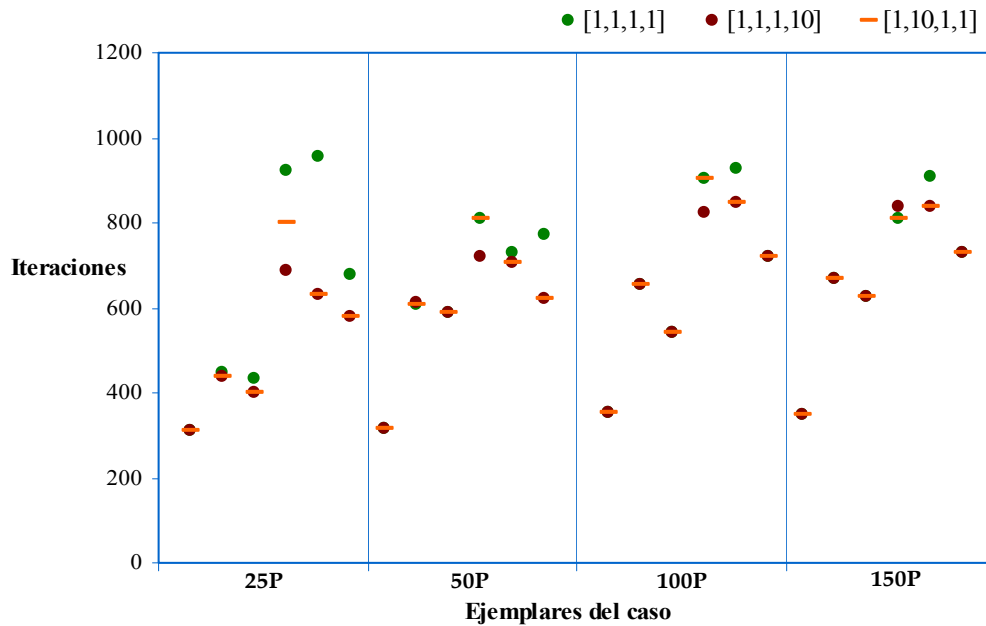


Figura8.1. Gráfico de iteraciones realizadas para lograr la asignación óptima de los diferentes casos de la casuística con tres diferentes ponderaciones de la función objetivo.

En las figuras 8.2 se presenta el gráfico que expone la tendencia en el número de iteraciones realizadas para llegar a una solución óptima. Se hace la comparación considerando dos valores diferentes para T [3 y 4] y su relación con los diferentes valores de C [2, 3 y 4], considerando por tanto las tipologías XI a la XV experimentadas. El número de iteraciones necesarias de los dos conjuntos de datos se comparan en referencia al valor de C y de P . Los datos son extraídos de los ejemplares tratados con la función objetivo donde todos los criterios tienen el mismo valor 1 de ponderación.

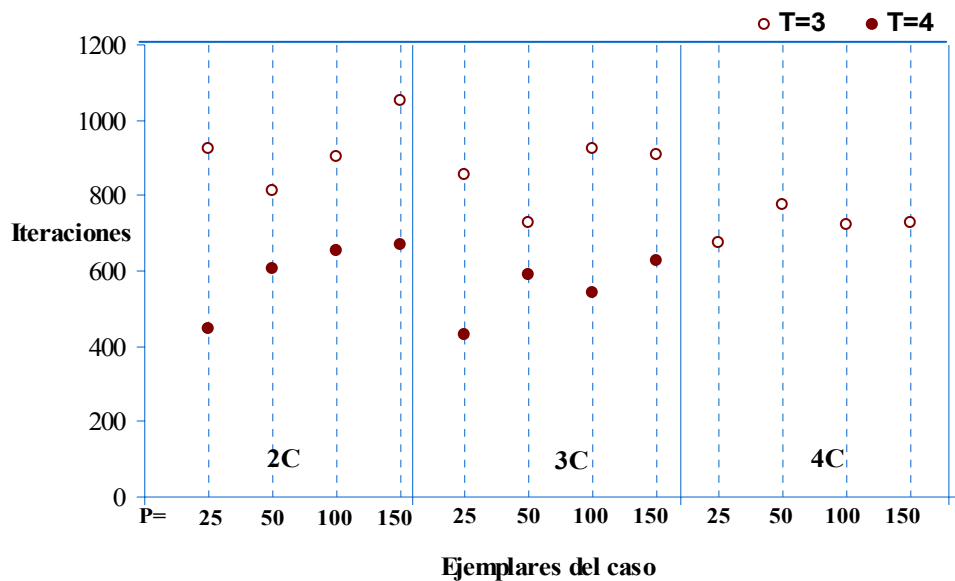


Figura 8.2. Gráfico de iteraciones realizadas para lograr la asignación óptima para los ejemplares XI al XV con ponderación [1,1,1,1] para función objetivo

A continuación se presenta en la figura 8.3 una gráfica que al igual que la anterior figura, hace referencia al número de iteraciones necesarias para llegar al óptimo, pero aquí hace la comparación considerando dos valores de C [2 y 3] y su tendencia en relación a los diferentes valores de T [2, 3 y 4] y los valores de P experimentados en el caso (tipologías X a la XIV). Los datos graficados en esta figura (8.3) son de igual forma los resultados evaluados con ponderación igual para todos los criterios de la función objetivo (valor 1).

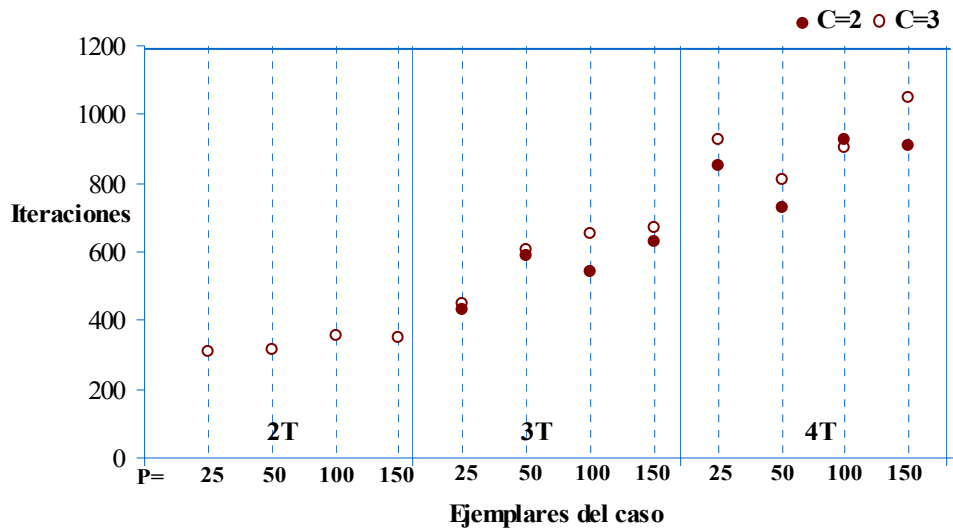


Figura 8.3. Gráfico de iteraciones realizadas para encontrar asignación óptima para los ejemplares X al XIV con ponderación [1,1,1,1] para función objetivo.

Las dos figuras anteriores (8.2 y 8.3) permiten visualizar cómo afecta en la búsqueda de la solución óptima, la diferencia que se da, entre la cantidad de tareas y categorías que hay en el ejemplar experimentado.

La relación de tiempo y número de iteraciones realizadas para llegar al óptimo, de los 44 ejemplares experimentos de tipología X [$C=2$, $T=2$] de esta casuística, se presentan graficados en la figura 8.4 mostrada a continuación. Donde se puede apreciar los puntos de intersección entre el número de iteraciones necesarias y el tiempo requerido, clasificando dichos puntos en función de la cantidad de personal ($P= 25, 50, 100, 150$).

En la gráfica (figura 8.4) se observa la tendencia en el tiempo necesario para llegar al óptimo conforme aumenta el valor de P .

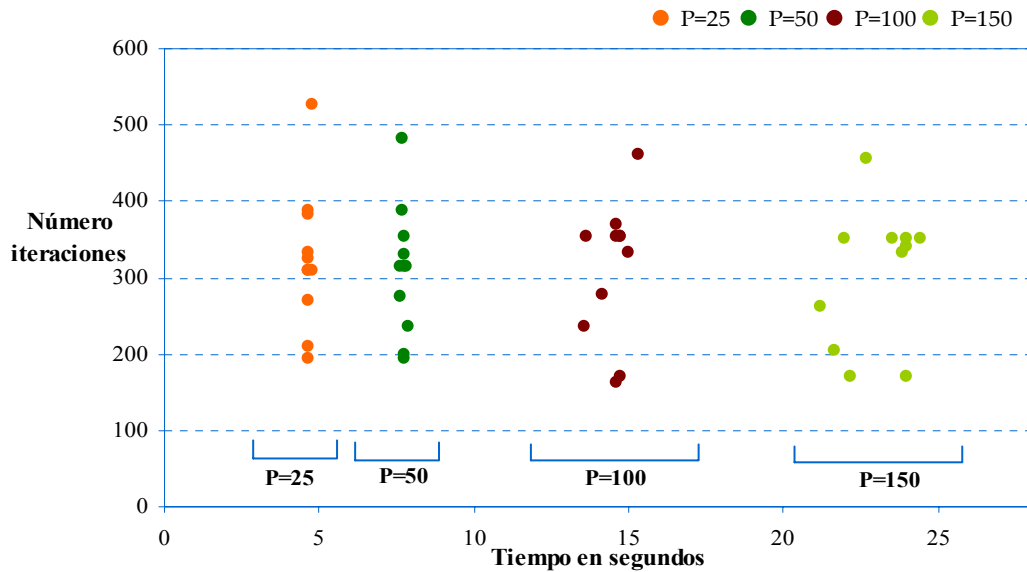


Figura 8.4. Gráfico de relación tiempo-iteraciones para lograr la asignación óptima para la tipología X con las diferentes ponderaciones de la función objetivo.

Se exhibe en la figura 8.5 para los casos de tipología X a la XV con los cuatro respectivos valores de P [25, 50, 100, 150], la relación entre el número de iteraciones y el tiempo requerido para llegar al óptimo (considerando la ponderación de 1 para todos los criterios). Señalando que la misma gráfica permite visualizar como afecta el valor de T respecto al número de iteraciones realizadas para llegar al óptimo.

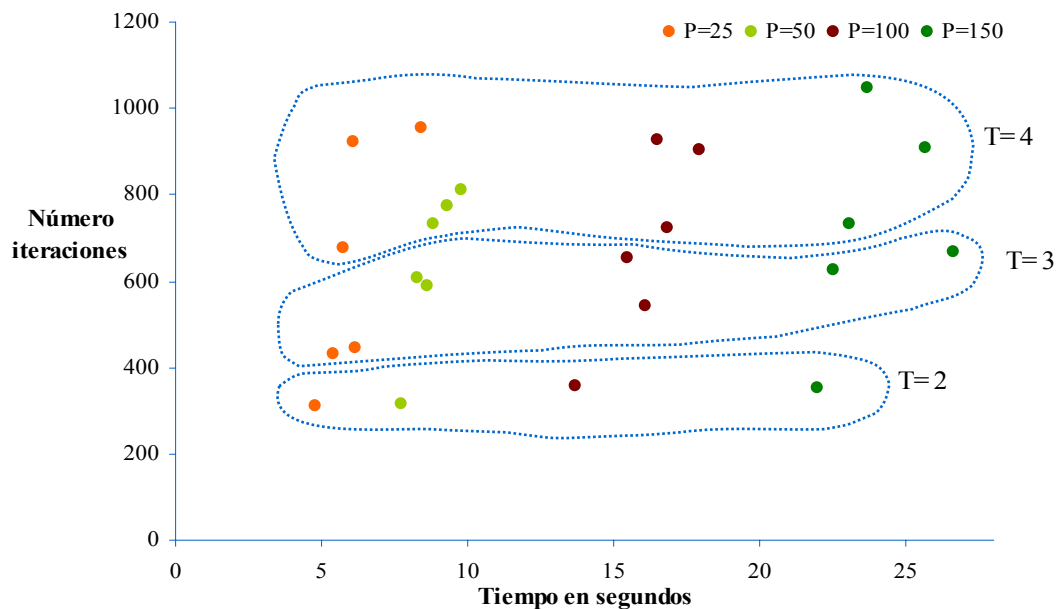


Figura 8.5. Gráfico de relación tiempo-iteraciones para lograr asignación óptima para los casos de tipología X al XV, con ponderación [1,1,1,1] para función objetivo.

En las gráficas presentadas en las figuras de 8.6 a la 8.11, se expone para la tipología XV [4T, 4C] del caso experimentado, la diferencia (exceso o escasez) respecto a la demanda de capacidad ideal (figuras 8.6, 8.8 y 8.9) o respecto la demanda de capacidad mínima (figura 8.7, 8.9 y 8.11). También representa la capacidad asignada (total de personal asignado), esto para cada tarea en cada uno de los intervalos que componen el horizonte (H).

Se presentan estas seis gráficas considerando tres diferentes tipos de ponderaciones aplicados a los criterios de la función objetivo, esto para mostrar como afecta en la evaluación de la asignación óptima, la prioridad de satisfacción de los criterios, aplicada por medio de la ponderación.

Las dos primeras gráficas (figura 8.6 y 8.7), nos indican la diferencia que se presenta al evaluar las soluciones considerando en la función objetivo una ponderación igual de los criterios. La figura 8.8 y 8.9 nos indican las diferencias entre la cantidad de capacidad asignada y la ideal (figura 8.7.) o mínima (figura 8.9), cuando en la función objetivo se le da prioridad al criterio de lograr una asignación de capacidad cercana a los valores de capacidad ideal deseada.

En las últimas dos figuras (8.10 y 8.11), se presentan las gráficas que muestran las diferencias de capacidad resultantes, al llevar a cabo la búsqueda de la asignación óptima, dando una ponderación mayor al criterio de que la asignación se adapte mejor a los niveles de satisfacción mínimos de capacidad.

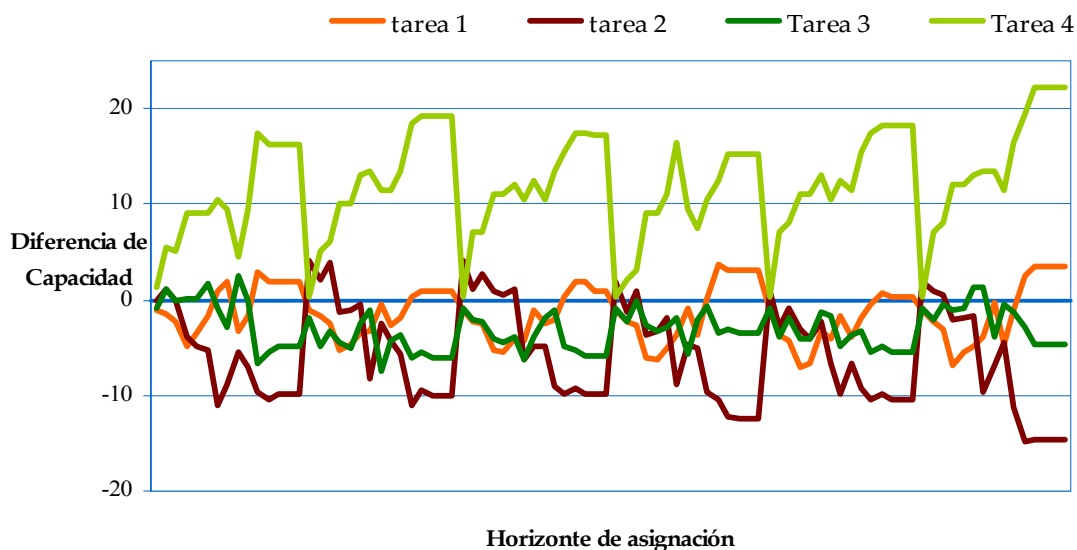


Figura 8.6. Diferencia de la capacidad asignada respecto a la capacidad deseada para la combinación $[H, P, T, C] = [90, 150, 4, 4]$, con ponderación $[1, 1, 1, 1]$ en la función objetivo.

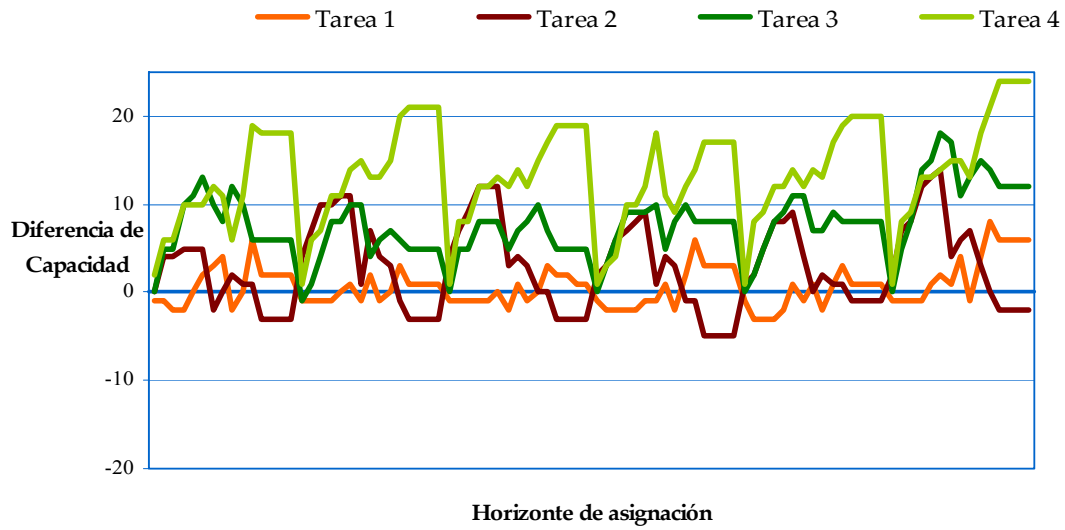


Figura 8.7. Diferencia de la capacidad asignada respecto a la capacidad mínima deseada para la combinación $[H, P, T, C] = [90, 150, 4, 4]$, con ponderación $[1, 1, 1, 1]$ en la función objetivo.

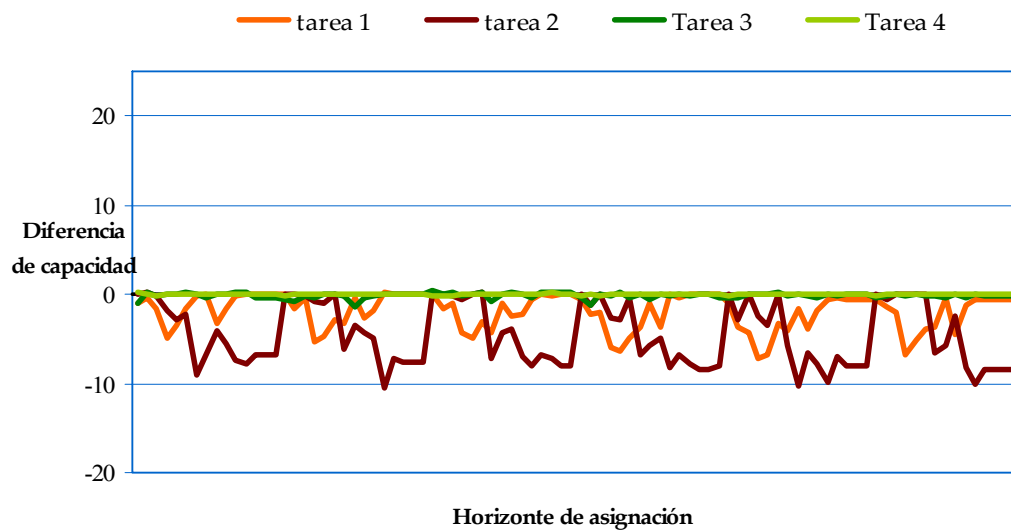


Figura 8.8. Diferencia de la capacidad asignada respecto a la capacidad deseada para la combinación $[H, P, T, C] = [90, 150, 4, 4]$, con ponderación $[1, 1, 100, 0]$ en la función objetivo.

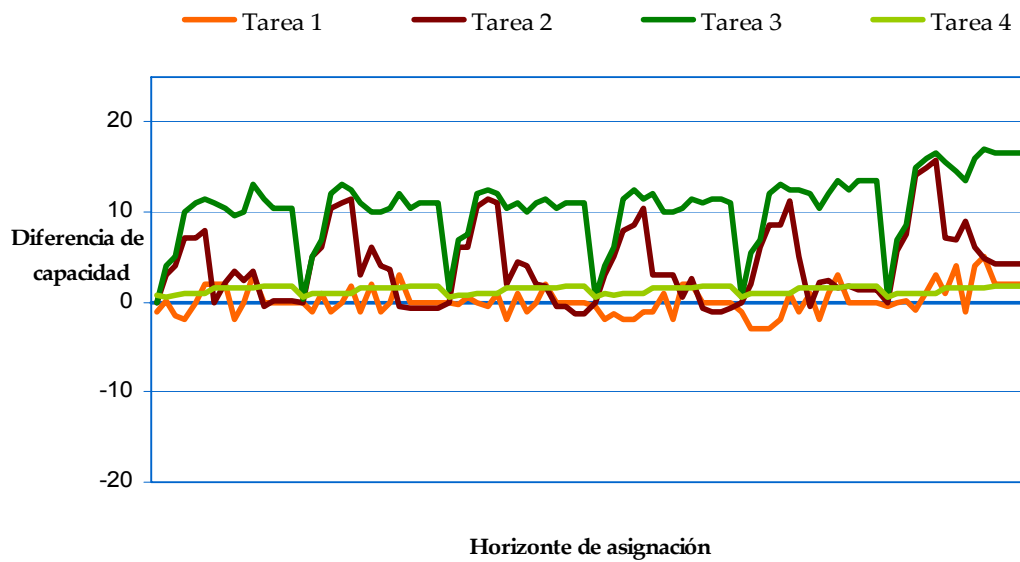


Figura 8.9. Diferencia de la capacidad asignada respecto a la capacidad mínima deseada para la combinación $[H, P, T, C] = [90,150,4,4]$, con ponderación $[1,1,100,0]$ en la función objetivo.

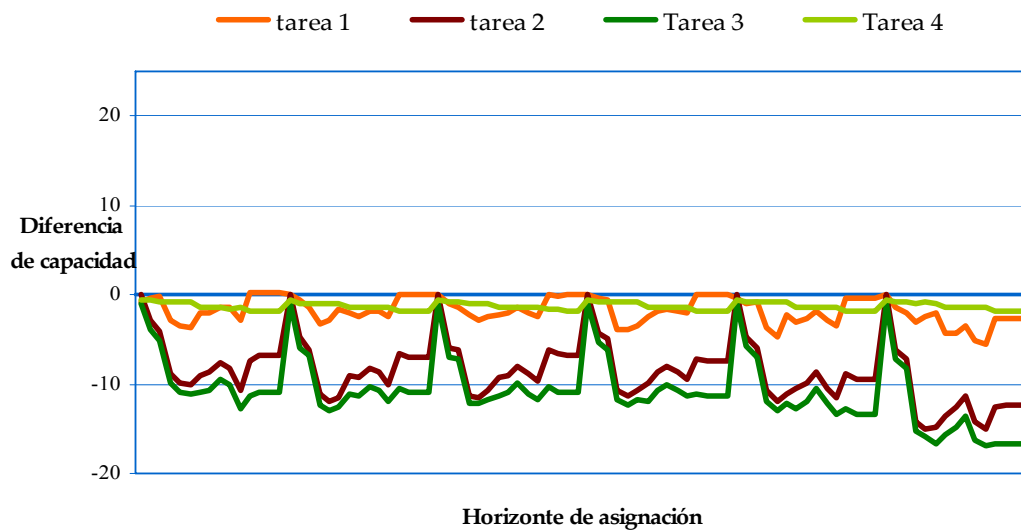


Figura 8.10. Diferencia de la capacidad asignada respecto a la capacidad deseada para la combinación $[H, P, T, C] = [90,150,4,4]$, con ponderación $[1,1,0,100]$ en la función objetivo.

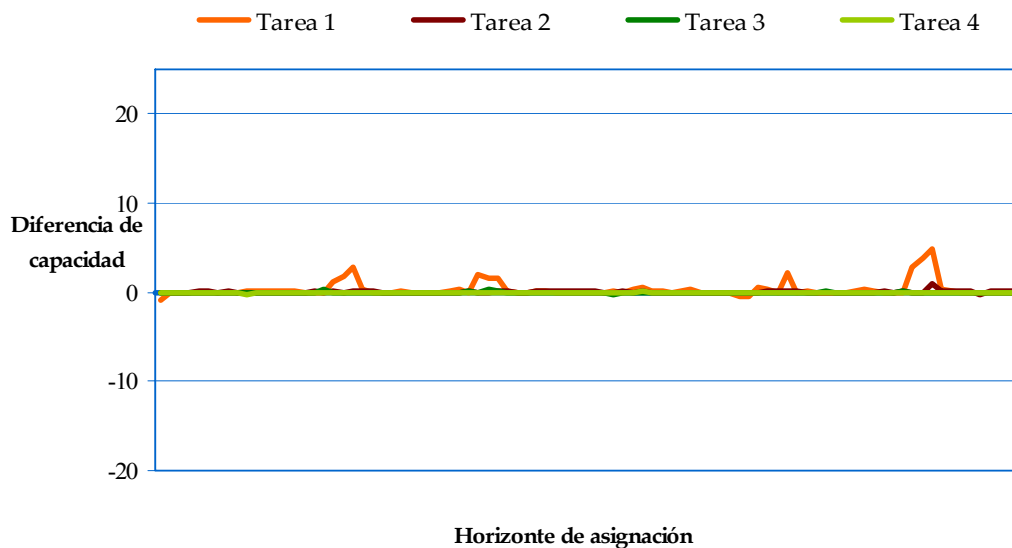


Figura 8.11. Diferencia de la capacidad asignada respecto a la capacidad mínima deseada para la combinación $[H, P, T, C] = [90, 150, 4, 4]$, con ponderación $[1, 1, 0, 100]$ en la función objetivo.

8.1.7. Resumen de las conclusiones del experimento del caso *ESERVICIO*

Conforme al análisis de los resultados obtenidos la experimentación del caso real podemos concluir que:

- Los casos que involucran menor cantidad de tipos de tareas y categorías se resuelven más rápido y por consiguiente es más viable obtener una asignación óptima en un tiempo pequeño. (Tablas 8.22 y 8.23).
- Se observa que cuando aumenta el número de tareas diferentes y el número de tipos de personal (categorías), si aumentamos la cantidad de personal disponible, es más fácil obtener una asignación óptima que teniendo poco personal distribuido entre las diferentes categorías. (Tablas 8.23 y 8.24).
- Cuando la función objetivo tiene criterios de evaluación que guarden relación entre ellos, se observa que es más rápido llegar a la asignación factible cuando se tiene un peso igual en cada uno de los criterios. En cambio el tiempo para encontrar una asignación óptima o factible (según sea el caso) aumenta, cuando se le da mayor ponderación a uno de los criterios que tiene relación directa con otro. Nos referimos concretamente a los casos en que una misma característica es evaluada en base a dos parámetros diferentes, como por ejemplo si observamos la satisfacción de la capacidad necesaria, donde uno de los criterios

busca la asignación óptima basada en la mínima diferencia respecto al nivel de capacidad deseada (ideal) y otro de los criterios persigue que la diferencia de capacidad sea lo más ajustada al nivel mínimo de capacidad. (Tabla 8.21).

- Se observa que el tamaño del ejemplar(H, T, C y P), influye directamente en el tiempo requerido por el modelo para realizar las iteraciones necesarias que permitan encontrar una asignación óptima. (fig. 8.4 y 8.5).
- Como es de esperar, se observa cómo influye la ponderación de los criterios que constituyen la función objetivo el modelo. Lo que demuestra su buen funcionamiento y como la asignación óptima o factible encontrada (según sea el caso) se inclina al criterio que tenga prioridad de satisfacción sobre los demás. Esto lo muestran las gráficas incluidas de la figura 8.6 a la 8.10, donde se visualiza como el exceso o escasez de capacidad se minimiza respecto al valor ideal o mínimo dependiendo de cual de los criterios se le da mayor prioridad en cada momento sobre los demás criterios.
- Como se ha podido observar y mencionado en la introducción de este apartado, el modelo original básico (BC) propuesto en ésta tesis doctoral, considera la asignación del personal a las tareas tratando de satisfacer sólo los niveles de capacidad deseada (ideal). Pero por las condicionantes de caso real presentado en la experimentación, se ha necesitado la incorporación de otro criterio más de evaluación, el cual se basa en los niveles de satisfacción de capacidad, vinculados a los requerimientos mínimos de cobertura expuestos por la organización. Esto demuestra la flexibilidad del modelo para adaptarse con facilidad a las prioridades y por supuesto a las necesidades de las organizaciones.

8.2. Experimento II: Caso Hipotético

Para llevar a cabo una experimentación más amplia del modelo (o modelos) desarrollados en esta tesis doctoral, se hace uso de un caso hipotético que permita realizar una mayor variabilidad de escenarios posibles.

El presente apartado se inicia con la exposición de los datos generales de este caso y los que son utilizados a lo largo de los diferentes experimentos realizados de esta casuística. Los experimentos consisten en resolver la casuística como un problema de asignación (BCR, BCI), pero además para

algunos de los casos se lleva a cabo una reasignación (RCR) o bien la concatenación de intervalos (ACR).

Dentro de los experimentos, se hace una comparación de la asignación realizada por *rango* y *bloque* (intervalos continuos de trabajo), además también se lleva a cabo una comparación de la asignación que se consigue teniendo la situación en que el personal, en lugar de ser de tipo incompatible es de tipo compatible.

Este apartado finaliza incluyendo las conclusiones a las que se llegó después de realizar experiencia computacional del caso hipotético presentado.

8.2.1. Definición de parámetros

Definidas las características que involucran los problemas de asignación y concretadas las que son consideradas en el modelo presentado en esta tesis, está fuera del alcance de esta tesis presentar un caso para cada una de las combinaciones posibles; por lo que se ha decidido la experimentación de un caso hipotético, donde algunas de las características son consideradas fijas. El término de característica fija, se refiere a que la característica en cuestión es considerada en una sola de sus formas, para de esta manera disminuir la cantidad de problemas que se constituyen. Para el resto de las características, la presencia en la experimentación considera sus diferentes formas (descritas en el capítulo 6).

En la tabla 8.25 que se presenta a continuación, se enumeran las características fijas, indicando en cual de sus formas se presenta en los casos desarrollados para la experimentación.

Características fijas	
Característica	Forma
Personal	Polivalencia total
Rendimiento	Uniforme
Prioridad de uso personal	Diferente

Tabla 8.25. Listado de características consideradas fijas

Definidas las características que son conocidas a priori como fijas, ahora se enumeran en la tabla 8.26, las características y otros factores que son consideradas en la experimentación con más de una de sus formas.

Características variables	
Característica	Forma
Tipo de caso	Asignación
	Reasignación (Concatenación)
Carga de trabajo	Incompatible
	Compatible
Naturaleza de tareas	Homogénea
	Heterogénea
Disponibilidad requerida	Exacta
	Aproximada
Preferencia del personal	Si existe
	No se considera
Preferencia de tareas	Si hay
	No hay
Trabajo continuo en tareas	Rango
	Bloque

Tabla 8.26. Listado de características variables

8.2.2. Definición de datos

En este apartado se presentan los valores que toman los datos necesarios para llevar a cabo la experiencia computacional de los casos, acorde a las características que se involucran y las cuales fueron descritas en el apartado anterior (8.2.1).

- La cantidad de categorías, es un factor que influye en la complejidad del problema, esto ya se pudo observar en la experimentación del caso real. Basándonos en ejemplos realizados con anterioridad en organización de tiempo de trabajo, se ha utilizado para este parámetro los valores de $C = [2, 3 \text{ y } 4]$.
- La cantidad de tipos de tareas considerados en la experimentación de este caso hipotético son para $T = [2, 3 \text{ y } 5]$.
- Establecidos anteriormente los datos correspondientes a la cantidad de categorías y tipos de tareas consideradas para este caso hipotético, incluimos la tipología de los diferentes escenarios que surgen. Dicha tipología consiste en identificar los diferentes escenarios que resultan de la combinación de ambas características $[C, T]$. En la tabla 8.27, se muestra la identificación que recibe cada una de las tipologías que se forman y la cual es utilizada para tipificar el tipo de

combinación *tarea-categoría* al que se haga referencia a lo largo de este apartado.

Tipos de tarea (T)	Cantidad de categorías (C)		
	2	3	4
2	I	II	III
3	IV	V	VI
5	VII	VIII	IX

Tabla 8.27. Tipología de ejemplar

- El tiempo que compone el horizonte de asignación influye en la cantidad de variables que se generan. Para dar una idea general del funcionamiento de la metodología propuesta, se considera una asignación con un horizonte de tamaño $H=[12, 50, 100$ y $168]$ intervalos de tiempo.
- Los datos de demanda de personal en las tareas para cada uno de los intervalos que componen el horizonte de asignación, utilizados en la experimentación, están en las tablas 8.27a y 8.27b que se encuentra a continuación. En Dichas tablas se establece para cada tipología de ejemplar los datos necesarios.

P	2 tareas		3 tareas			4 tareas				
	1	2	1	2	3	1	2	3	4	5
10	5	5	3	4	3	2	2	2	2	2
50	25	25	15	20	15	10	10	10	10	10
100	50	50	30	40	30	20	20	20	20	20

Tabla 8.27a. Demanda para el caso de disponibilidad exacta

P	2 tareas		3 tareas			4 tareas				
	1	2	1	2	3	1	2	3	4	5
10	4	4	3	3	3	1	2	2	2	1
50	20	20	15	15	15	8	8	8	8	8
100	40	40	30	30	30	20	15	20	15	20

Tabla 8.27b. Demanda para el caso de disponibilidad aproximada

- Para tener una representación de la aplicación del modelo con diferente presencia de personal, se presentan en la experimentación tres valores que dan una representación diferentes tamaños organización (o la consideración por áreas), incluyendo un tamaño pequeño, mediano y grande, conformadas respectivamente por $P= [10, 50$ y $100]$.

- Definidos los datos referentes a la cantidad de categorías y el total de personal que se utiliza en la experimentación, mostramos en las siguientes tablas (8.28 a la 8.30), los datos que correspondiente a la cantidad de personal de cada categoría, conforme a la cantidad de personal (P) que se dispone para cada uno de los casos.

Se indica la cantidad de personal de cada categoría, en cada una de las tablas se referencia por fila la tipología para la que se aplica la cantidad de personal contenida en cada una de sus columnas, correspondientes a cada una de los tipos de categoría.

P_c	Cantidad de personas de cada categoría			
	casos	1c	2c	3c
I, IV, VII	5	5		
II, V, VII	4	3	3	
III, VI, IX	2	2	3	3

Tabla 8.28. Cantidad de personal de cada categoría para P=10

P_c	Cantidad de personas de cada categoría			
	casos	1c	2c	3c
I, IV, VII	25	25		
II, V, VII	17	17	16	
III, VI, IX	12	12	13	13

Tabla 8.29. Cantidad de personal de cada categoría para P=50

P_c	Cantidad de personas de cada categoría			
	casos	1c	2c	3c
I, IV, VII	50	50		
II, V, VII	34	34	32	
III, VI, IX	24	24	13	13

Tabla 8.30. Cantidad de personal de cada categoría para P=100

- Como muestra la tabla 8.25, el tipo de personal considerado en esta casuística es de tipo polivalencia total. Esto indica que para cada pareja *trabajador-tarea* tiene un valor de 1, de acuerdo a lo

definido en el capítulo anterior en referencia a la polivalencia del personal.

- Para realizar la experimentación general de este caso hipotético se considera un rendimiento uniforme, por tanto el valor utilizado es de $r_{ct}=1$.
- El tipo de personal considerado para la experimentación es de tipo incompatible, por lo que se tiene un valor $m_p=0$ para todas las personas que se involucran en cada una de las tipologías de escenarios.
- La prioridad de uso del personal esta dado por categorías. Los valores utilizados para este parámetro se listan en la tabla 8.31, donde exhibe la matriz de prioridad, la cual, especifica el valor del personal vinculado a cada una de las categorías que forman las diferentes tipologías de casos.

COc	prioridad por categoría			
Tipología del caso	1c	2c	3c	4c
I, IV, VII	1	2		
II, V, VII	2	3	2	
III, VI, IX	2	3	2	3

Tabla 8.31. Prioridad de uso del personal

- El dato que se utiliza para la naturaleza de las tareas es de tipo homogéneo, por lo que, cada una de las tareas involucradas en los diferentes casos toma valor de $n_t=1$.¹
- Según sea el caso experimentado, se considera el parámetro de preferencia del personal a las tareas (PP_{ct}). Para dichos casos, los datos utilizados se encuentran detallados en las tablas 8.32 a la 8.40 que aparecen a continuación. Cada una de las tablas hace referencia a una de las tipologías (tabla 8.27), donde se relaciona la preferencia de las categorías presentes con las respectivas tareas que componen la tipología especificada en cada tabla.

¹ Para el caso en que se lleva a cabo la comparación considerando un carga incompatible vs. compatible, se ha utilizado una naturaleza de tareas heterogénea y los valores respectivos se encuentran detallados en el apartado 8.2.6, donde se muestran los resultados de esa experimentación y además $m_p= [0,1]$ según sea el caso.

PP _{ct}	Categoría	
tarea	1c	2c
1t	0,5	0,5
2t	0,5	0,5

Tabla 8.32 Preferencia del personal para tipología I

PP _{ct}	Categoría		
tarea	1c	2c	3c
1t	0,5	0,5	0,5
2t	0,5	0,5	0,5

Tabla 8.33. Preferencia del personal para tipología II

PP _{ct}	Categorías			
tarea	1c	2c	3c	4c
1t	0,5	0,5	0,5	0,5
2t	0,5	0,5	0,5	0,5

Tabla 8.34. Preferencia del personal para tipología III

PP _{ct}	Categoría	
tarea	1c	2c
1t	0,3	0,3
2t	0,3	0,3
3t	0,3	0,3

Tabla 8.35 . Preferencia del personal para tipología IV.

PP _{ct}	Categoría		
tarea	1c	2c	3c
1t	0,3	0,3	0,3
2t	0,3	0,3	0,3
3t	0,3	0,3	0,3

Tabla 8.36. Preferencia del personal para tipología V.

PP _{ct}	Categorías			
tarea	1c	2c	3c	4c
1t	0,3	0,3	0,3	0,3
2t	0,3	0,3	0,3	0,3
3t	0,3	0,3	0,3	0,3

Tabla 8.37. Preferencia del personal para tipología VI.

PP _{ct}	Categoría	
tarea	1c	2c
1t	0,2	0,2
2t	0,2	0,2
3t	0,2	0,2
4t	0,2	0,2
5t	0,2	0,2

Tabla 8.38. Preferencia del personal para tipología VII.

PP _{ct}	Categoría		
tarea	1c	2c	3c
1t	0,2	0,2	0,2
2t	0,2	0,2	0,2
3t	0,2	0,2	0,2
4t	0,2	0,2	0,2
5t	0,2	0,2	0,2

Tabla 8.39. Preferencia del personal para tipología VIII.

PP _{ct}	Categorías			
tarea	1c	2c	3c	4c
1t	0,2	0,2	0,2	0,2
2t	0,2	0,2	0,2	0,2
3t	0,2	0,2	0,2	0,2
4t	0,2	0,2	0,2	0,2
5t	0,2	0,2	0,2	0,2

Tabla 8.40. Preferencia del personal para tipología IX.

- De igual manera la preferencia por parte de la organización, de satisfacción de las tareas, en algunos de los casos experimentados no se considera. Pero por otro lado están aquellos casos en que esta característica se involucra y para ellos, se presenta en la tabla 8.41 el listado de preferencias de satisfacción de tareas. Donde en cada fila se indican los tipos de tareas que se involucran cada una las tipología y su respectivo valor de preferencia (P_{t_i}) utilizado en la experimentación.

Tipología del caso	Tipos de tareas				
	1t	2t	3t	4t	5t
I, II, III	0,5	0,5			
VI, V, VI	0,3	0,3	0,3		
VII, VIII, IX	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

Tabla 8.41. Preferencia de la organización en la satisfacción de las tareas para las diferentes tipologías.

- En la experiencia computacional del modelo se involucran dos estereotipos para la característica del trabajo continuo en las tareas (*rango, bloque*), y para cada uno de ellos se presenta una tabla donde nos indica los valores que se utilizaron dependiendo del tipo de trabajo continuo considerado en la experimentación.

En la tabla que aparece a continuación (tabla 8.42), se presentan los valores del tamaño de bloque de trabajo para cada una de las tareas. Dicha tabla se encuentra ordenada conforme a la tipología del caso en que se aplican los datos.

IE_t	Tipos de tareas				
Tipología del caso	1t	2t	3t	4t	5t
I, II, III	1	1			
VI, V, VI	1	1	1		
VII, VIII, IX	1	1	1	1	1

Tabla 8.42. Bloques de trabajo en las tareas para los diferentes casos

Para los casos en que se considera el llevar a cabo la asignación de tareas restringido por un rango de intervalos continuos, los datos necesarios son expuestos de la tabla 8.42, que contiene la matriz de rangos. En cada casilla se exhibe el valor mínimo y máximo que construyen el rango de cada relación tipología-tarea.

$[LMIN_t, LMAX_t]$	Tipos de tareas				
Tipología del caso	1t	2t	3t	4t	5t
I, II, III	[1, 4]	[1, 4]			
VI, V, VI	[1, 3]	[1, 3]	[1, 3]		
VII, VIII, IX	[1, 3]	[1, 3]	[1, 5]	[1, 3]	[1, 5]

Tabla 8.43. Rangos de trabajo en las tareas para los diferentes casos

- La escasez y exceso de personal permitido en las diferentes tareas y para todos los casos experimentados tiene un valor de 1, dicho en otras palabras $SD_t=1$ y $SE_t=1$.
- La proporción de intervalos ideales (ITC_t) que las personas han de pasar en cada tarea, se encuentran detallados en las tablas expuestas a continuación (tabla 8.44 a la 8.52). En cada una de las tablas se especifican los datos correspondientes a una

tipología de escenarios específica, las cuales están formadas por las parejas *tarea-categoría*, indicando para cada dúo el dato utilizado en la experiencia computacional.

ITC _{ct}	Categoría	
tarea	1c	2c
1t	0,5	0,5
2t	0,5	0,5

Tabla 8.44. Proporción de intervalos para tipología I

ITC _{ct}	Categoría		
tarea	1c	2c	3c
1t	0,5	0,5	0,5
2t	0,5	0,5	0,5

Tabla 8.45. Proporción de intervalos para tipología II

ITC _{ct}	Categorías			
tarea	1c	2c	3c	4c
1t	0,5	0,5	0,5	0,5
2t	0,5	0,5	0,5	0,5

Tabla 8.46. Proporción de intervalos para tipología III

ITC _{ct}	Categoría	
tarea	1c	2c
1t	0,3	0,3
2t	0,3	0,3
3t	0,3	0,3

Tabla 8.47. Proporción de intervalos para tipología IV.

ITC _{ct}	Categoría		
tarea	1c	2c	3c
1t	0,3	0,3	0,3
2t	0,3	0,3	0,3
3t	0,3	0,3	0,3

Tabla 8.48. Proporción de intervalos para tipología V.

ITC _{ct}	Categorías			
tarea	1c	2c	3c	4c
1t	0,3	0,3	0,3	0,3
2t	0,3	0,3	0,3	0,3
3t	0,3	0,3	0,3	0,3

Tabla 8.49. Proporción de intervalos para tipología VI.

ITC _{ct}	Categoría	
tarea	1c	2c
1t	0,5	0,5
2t	0,5	0,5
3t	0,5	0,5
4t	0,5	0,5
5t	0,5	0,5

Tabla 8.50. Proporción de intervalos para tipología VII.

ITC _{ct}	Categoría		
tarea	1c	2c	3c
1t	0,5	0,5	0,5
2t	0,5	0,5	0,5
3t	0,5	0,5	0,5
4t	0,5	0,5	0,5
5t	0,5	0,5	0,5

Tabla 8.51. Proporción de intervalos para tipología VIII.

ITC _{ct}	Categorías			
tarea	1c	2c	3c	4c
1t	0,5	0,5	0,5	0,5
2t	0,5	0,5	0,5	0,5
3t	0,5	0,5	0,5	0,5
4t	0,5	0,5	0,5	0,5
5t	0,5	0,5	0,5	0,5

Tabla 8.52. Proporción de intervalos para tipología IX.

- También un parámetro fijo empleado en todos los escenarios de este caso, es la tolerancia de intervalos ideales de dedicación a lo largo del horizonte de asignación. Dicho valor toma un valor $TOL=0,50$.
- Para llevar a cabo la experimentación, no se limita la cantidad de personal por categoría que pueda asignarse simultáneamente a una misma tarea. El valor de máxima cantidad $E_{ct}=P_c$.

8.2.3. Valores de ponderación

Para los componentes de la función objetivo se han utilizado valores de ponderación igual para todos los criterios de evaluación, por consiguiente se tienen los valores mostrados en la tabla 8.53 que se muestra a continuación

Parámetro	Valor 1
$w\alpha$	1
$w\beta$	1
$w\lambda$	1
$w\delta$	1
$w\psi$	1
$w\phi$	1
λ_1	1
λ_2	1
ψ_1	1
ψ_2	1

Tabla 8.53. Valores de ponderación de los criterios de La función objetivo.

8.2.4. Tipos de problemas de asignación (*modelo BCR y BCI*).

En base a las características descritas en el apartado 8.2.1 como fijas y variables se presentan los diferentes escenarios que se realizaron en la experiencia computacional como de tipo asignación.

A continuación en la tabla 8.54 se listan los diferentes tipos de escenarios (siete diferentes) que se generan, identificando a cada uno de ellos con su respectiva nomenclatura (descrita en el capítulo 5) vinculada al tipo de características que se consideró en su experimentación.

Tipo problema	Descripción
A	AS-P-C-IND-MOF-HO-IN-EX-AU-DIF-SI-SH- MINMAX
B	AS-P-C-IND-MOF-HO-IN-EX-AU-DIF-NO-NH- MINMAX
C	AS-P-C-IND-MOF-HO-IN-EX-AU-DIF-SI-NH- MINMAX
D	AS-P-C-IND-MOF-HO-IN-AP-AU-DIF-SI-NH- MINMAX
E	AS-P-C-IND-MOF-HO-IN-AP-AU-DIF-SI-SH-MINMAX
F	AS-P-C-IND-MOF-HO-IN-AP-AU-DIF-NO-NH- MINMAX
G	AS-P-C-IND-MOF-HO-IN-AP-AU-DIF-NO-SH- MINMAX

Tabla 8.54. Problemas experimentados de asignación por rango identificados por la nomenclatura de sus características. Se destacan en negrita las características que se alternan

8.2.4.1. Asignación por rango (*modelo BCR*)

Aquí se presentan los resultados de la experimentación realizada para los diferentes escenarios del caso hipotético que se planteó, y cuyos datos están descritos al inicio del apartado.

En total se realizó la experimentación de un total de 756 ejemplares diferentes, según la combinación de los diferentes valores de H, P, T, C considerados para los diferentes problemas (7 en total). Para cada uno de los 756 casos que constituyen esta casuística en las tablas A.53 a la A.59 (del anexo) se detallan el tiempo consumido y número de iteraciones realizadas para llegar a la asignación óptima o factible (según sea el caso). De igual forma en las mismas tablas se identifican los casos en que no fue posible en el tiempo límite (900 segundos) llegar a una asignación factible.

En la figura 8.12 se muestra en porcentajes los tipos de resultados que se obtuvieron de los diferentes casos considerados en esta casuística. En esta figura se muestra la proporción de los casos en que se logró la asignación óptima (71,03%) en relación a la cantidad total de casos experimentados (756). Una segunda proporción es la que contabiliza los casos en que se consiguió una asignación factible con una diferencia menor al 5% de tolerancia absoluta respecto a la cota (16,40%), así como la proporción de casos en que la asignación conseguida se obtuvo con una tolerancia absoluta mayor al 5% y menor al 10% respecto a la cota (2,51%) y por ultimo el conjunto de casos en que se pudo encontrar una asignación factible con una tolerancia mayor al 10% (3,57%). También en la figura se puede observar que cantidad de casos no se pueden resolver por los datos de partida (1,59%), así como aquellos que dentro del tiempo límite no se logró ni por lo menos una asignación factible (4,89%). Los casos de esta experimentación hipotética en que no se logró una asignación factible (4,89%), se sometieron a una asignación por concatenación y se consiguió una asignación para un 13,51% de estos casos.

Los casos en que se logró una asignación óptima dentro del tiempo límite, lo constituyen ejemplares de diferentes dimensiones (H, P, T, C). Lo que es más importante resaltar, es que se han podido resolver problemas de grandes dimensiones, ya que entre este 71,03% de asignaciones óptimas logradas, se encuentran casos en que se realiza la asignación óptima para 100 personas (P) en un horizonte de asignación $H=168$ h con hasta 4 tipos de categorías (C) y 3 tipos de tareas (T), así como también para problemas con 5 tipos de categorías (C) y un horizonte de asignación $H=100$ h.

Referente a las casos en que no es factible la asignación (1,59%), hay que tener en cuenta, que se dan unos datos generales para el problema hipotético que se

plantea y la combinación de estos datos generales, origina los datos de partida para los casos específicos experimentados como casos hipotéticos. Por lo tanto, algunas de estas combinaciones generan un conjunto de datos de partida que formula un problema sin solución, pero aun así no han sido excluidos del análisis de la experimentación.

Para los casos en que no es posible llegar a una solución factible en el tiempo límite (900 segundos), se propone segmentar el problema y de esta forma lograr una asignación óptima o factible. Una forma de segmentarlo puede ser dividiendo el horizontes de asignación y luego concatenar las partes en que se divida el horizonte de asignación; o bien otra opción, es realizar la asignación de tareas por áreas de trabajo, en lugar de hacer una asignación general para todo el personal de la organización, ya que como se refleja en la experimentación estamos considerando organizaciones con una plantilla de hasta 100 personas, y es una cantidad grande de personal.

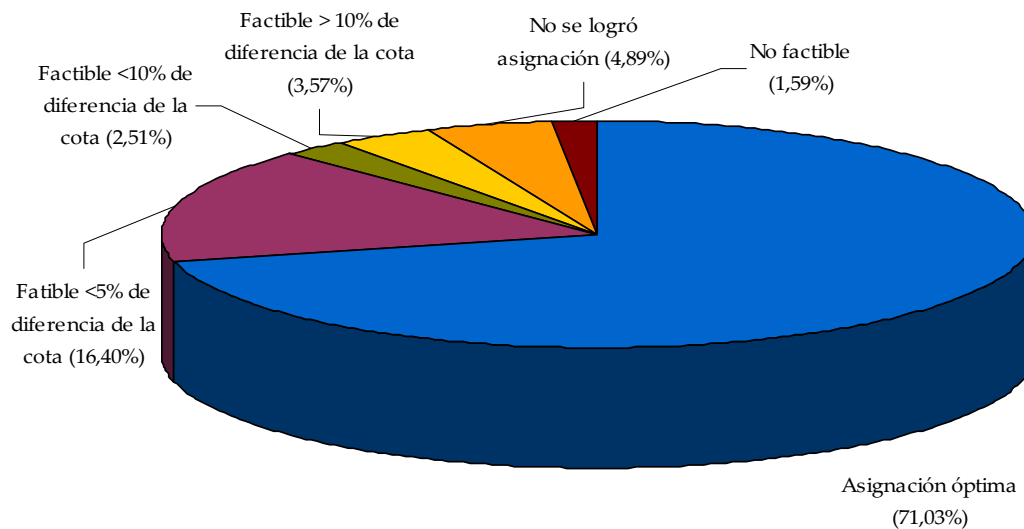


Figura 8.12. Proporción de tipo de resultados obtenidos, considerando 756 casos de asignación por rango experimentados.

El número de iteraciones necesarias para llegar a la asignación óptima depende en parte del tipo de características presentes en cada escenario, además de otros factores como son el tamaño del ejemplar. A continuación se presenta un gráfico (figura 8.13) donde se hace la comparación de la cantidad de iteraciones necesarias para llegar al óptimo para un mismo conjunto de ejemplares, donde únicamente se diferencian en la cantidad de personal disponible (exacta y aproximada). Los datos del ejemplo son los pertenecientes al caso de tipología I (2T, 2C) considerando los tres valores de P y los cuatro de H , indicados en el apartado 8.2.2. En este gráfico se puede observar que cuando se tiene una cantidad de personal aproximada a la que se demanda, requiere de mayor número de iteraciones para llegar al óptimo.

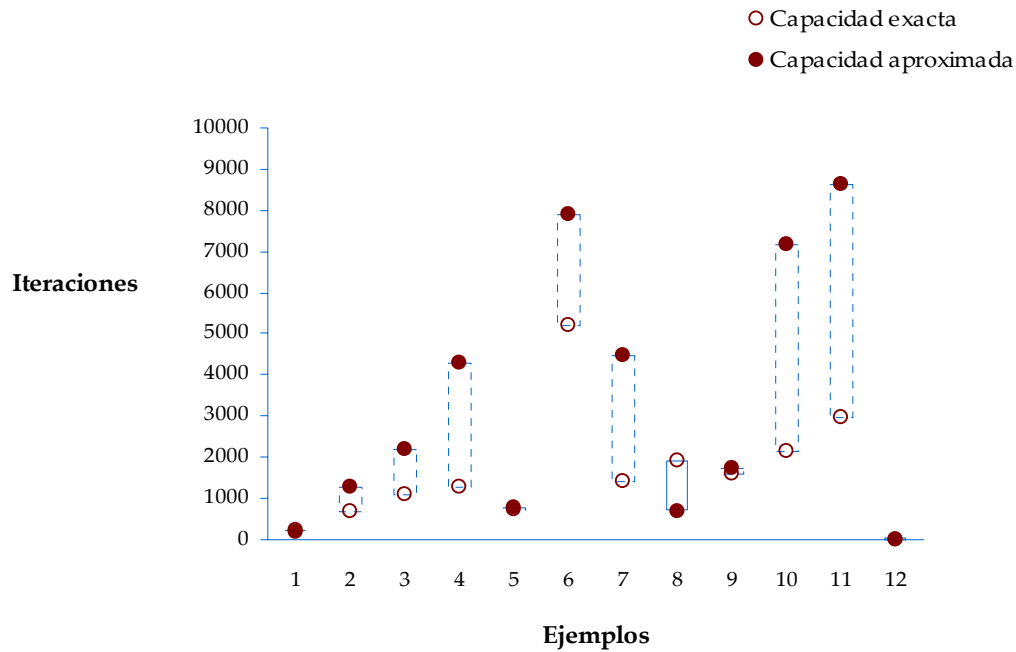


Figura 8.13. Gráfico que muestra las diferencias del número de iteraciones para llegar al óptimo del caso con $C=2$, $T=2$, $H=[12, 50, 100, 168]$ y $P=[10,50,100]$. Tratado como un problema tipo A (capacidad exacta) e I (capacidad aproximada)

Para analizar el tiempo requerido para llegar al óptimo de los diferentes casos contenidos en esta casuística, y vinculados a los diferentes tipos de problemas (tabla 8.54), se presenta en la figura 8.14 un gráfico donde se muestra el tiempo consumido para llegar a la asignación óptima de los casos con tipología I, con los respectivos valores de P y H . Se expresa en este gráfico el tiempo requerido para cada uno de los ejemplos dependiendo del problema en que se presentó. Con el conjunto de puntos expuesto en el gráfico (figura 8.14), podemos observar que para cada uno de los ejemplares se tiene la misma tendencia del tiempo requerido para llegar al óptimo de los diferentes ejemplares considerándolos bajo las diferentes formas de problemas de asignación.

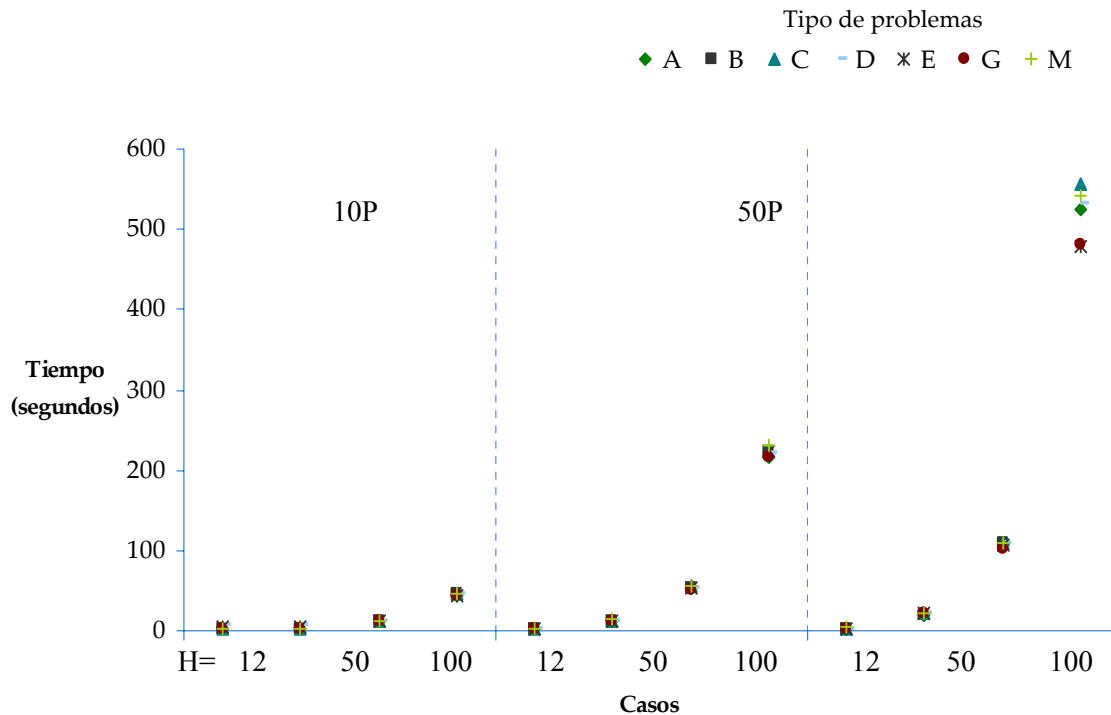


Figura 8.14. Gráfico de tiempo requerido para llegar al óptimo, del caso con $C=2$, $T=2$, $H=[12, 50, 100, 168]$ y $P= [10,50,100]$. Tratados como los diferentes tipos de problemas.

8.2.4.2. Asignación por bloque (*modelo BCI*)

Para los ejemplos de asignación por bloque experimentados y conforme a lo expuesto en la tabla 8.42, el personal debe pasar en las tareas sólo un intervalo de forma continua a lo largo del horizonte de asignación.

Para esta casuística se han considerado las tipologías descritas en la tabla 8.34, aplicadas a los tipos de problemas presentados en la tabla 8.53., pero con la particularidad de aquí los casos son tratados considerando la característica del trabajo continuo en forma de bloque. Como esta es la única característica que cambia, para identificar los tipos de problemas se dejará la misma letra de identificación según tabla 8.54, pero agregando un 1 para distinguir que el problema contiene la característica del trabajo continuo de tipo bloque. En la siguiente tabla (8.55) se lista la codificación de estos tipos de problemas.

Tipo problema	Descripción
A1	AS-P-C-IND-MOF-HO-IN-EX-AU-DIF-SI-SH-BLOQUE
B1	AS-P-C-IND-MOF-HO-IN-EX-AU-DIF-NO-NH- BLOQUE
C1	AS-P-C-IND-MOF-HO-IN-EX-AU-DIF-SI-NH- BLOQUE
D1	AS-P-C-IND-MOF-HO-IN-AP-AU-DIF-SI-NH- BLOQUE
E1	AS-P-C-IND-MOF-HO-IN-AP-AU-DIF-SI-SH- BLOQUE
F1	AS-P-C-IND-MOF-HO-IN-AP-AU-DIF-NO-NH- BLOQUE
G1	AS-P-C-IND-MOF-HO-IN-AP-AU-DIF-NO-SH- BLOQUE

Tabla 8.55. Problemas experimentados de asignación por bloque identificados por la nomenclatura de sus características.

En total se realizó la experimentación de 756 ejemplares diferentes, generados por la combinación de las diferentes tipologías, tipo de problemas y los valores considerados para la cantidad personal (P) y tamaños de horizonte diferentes (H).

Los tipos de resultados obtenidos se representan en la figura 8.15, en donde se puede observar su distribución, acotándolos acorde al tipo de asignación lograda (en los casos en que se pudo conseguir una asignación) o bien, cuantificar los casos en que no fue posible encontrar ninguna solución factible, todo ello como se ha dicho a lo largo del capítulo en un tiempo límite de 900 segundos. El tipo de resultado obtenido de cada caso se cuantifica en uno de los cuatro diferentes conjuntos en que se encuentra clasificado los resultados obtenidos para este tipo de asignación. El primero conjunto hace referencia a la cantidad de casos en que se logró la asignación óptima (67,46%), el segundo contabiliza los casos en que se consiguió una asignación factible (16,26%), un tercer conjunto contiene los casos en que no se llegó a ninguna asignación factible (14,94%), y el último se refiere aquellos era factible de solucionar por los datos de partida (1,32%).

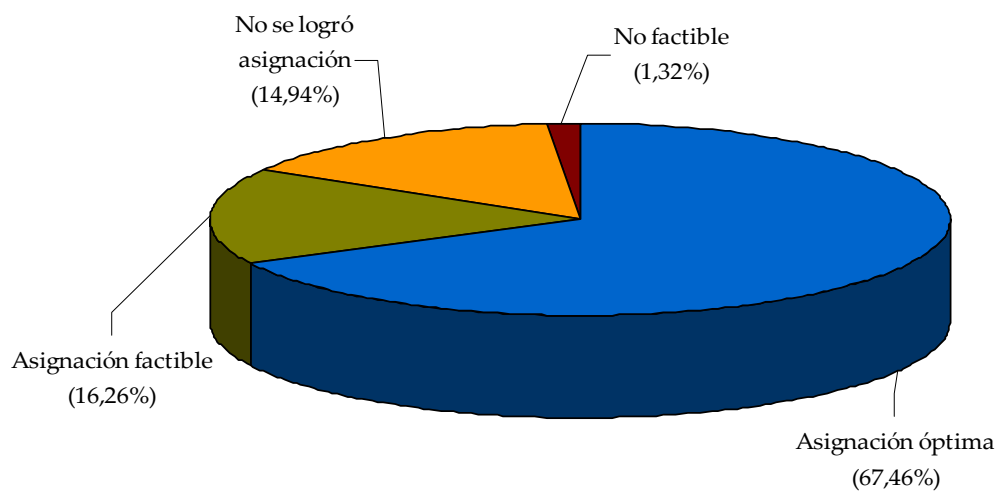


Figura 8.15. Proporción de tipo de resultados obtenidos, considerando 756 casos de asignación por bloque experimentados.

Referente a la clasificación hecha de los resultados en la figura 8.15, se presenta en la tabla 8.56 el mismo tipo de clasificación de resultados; pero aquí se presentan por separado los resultados según la tipología a la que pertenece cada caso experimentado. La tabla está ordenada por las diferentes tipologías y para cada una de ellas se relaciona cuatro casillas, donde en cada una se expresa en porcentaje, un valor de proporción, correspondiente a uno

de los tipos de clasificación en que están separados los resultados (asignación óptima, factible, sin asignación y no factible). Que como ya se ha dicho anteriormente factible se refiere a llegar a una solución factible en un tiempo máximo de 900 segundos, sin asignación es donde no se llegó a ninguna solución en este tiempo límite y por último no factible se refiere a los casos en que los datos no cumplen con los requerimientos mínimos para la búsqueda de la asignación.

Tipología	Tipo de resultado			
	Asignación óptima	Asignación factible	No se encontró asignación	Casos no factible
<i>I</i>	84,52%	2,38%	13,10%	0%
<i>II</i>	91,67%	0%	8,33%	0%
<i>III</i>	88,10%	0%	11,90%	0%
<i>IV</i>	61,90%	26,19%	11,90%	0%
<i>V</i>	77,38%	11,90%	10,71%	0%
<i>VI</i>	69,05%	23,81%	7,14%	0%
<i>VII</i>	47,62%	29,76%	19,05%	3,57%
<i>VIII</i>	47,62	27,38%	21,43%	3,57%
<i>IX</i>	39,29%	25,00%	30,95%	4,76%

Tabla 8.56. Proporción de tipo de resultados obtenidos, considerando los 84 ejemplares de cada tipología experimentados en esta casuística de asignación por bloque experimentados.

El tamaño máximo de problema para el que se puede conseguir el óptimo en el tiempo límite (900 segundos), depende del tipo de características y parámetros que se contenga el caso. En la tabla 8.57 se muestra para esta casuística (asignación por bloque) el caso más grande de cada tipo de problema para el que se puede lograr el óptimo. Las filas que componen la tabla, listan los tipos de problemas experimentados, y cada una de las filas se vinculan a las columnas donde se detallan los datos específicos del caso más grande (*H, P, T, C restricciones, variables*) para el que se obtuvo el óptimo para ese tipo de problema concreto. Se puede ver en los datos presentados en la tabla que existe diferencias en tamaño máximo de problema en que se puede llegar a resultados óptimos según sean características que se involucren en el caso.

Tipo de problema	Datos del caso					
	<i>H</i> (Horizonte)	<i>P</i> (Personal)	<i>T</i> (Tareas)	<i>C</i> (Categorías)	Restricciones	Variables
<i>A1</i>	168	100	2	4	222438	104630
<i>B1</i>	168	100	2	3	238564	104292
<i>C1</i>	100	100	3	4	193605	83905
<i>D1</i>	100	50	5	5	151005	65505
<i>E1</i>	168	50	3	4	165654	72342
<i>F1</i>	168	100	2	4	239236	104628
<i>G1</i>	168	100	2	4	239237	104629

Tabla 8.57. Presentan los datos del caso de tamaño máximo, para el que obtuvo el óptimo en cada uno de los tipos de problemas experimentados.

En la gráfica que se exhibe en la figura 8.16, se muestra el tiempo consumido para obtener la asignación óptima de los ejemplos de tipología VII (5*T*, 2*C*), que tienen un horizonte de 50 intervalos, y vinculados a los tres diferentes valores de *P*. En la figura se pueden observar las diferencias que existen en el tiempo consumido, según el tipo de problema (tabla 8.54) que se experimento.

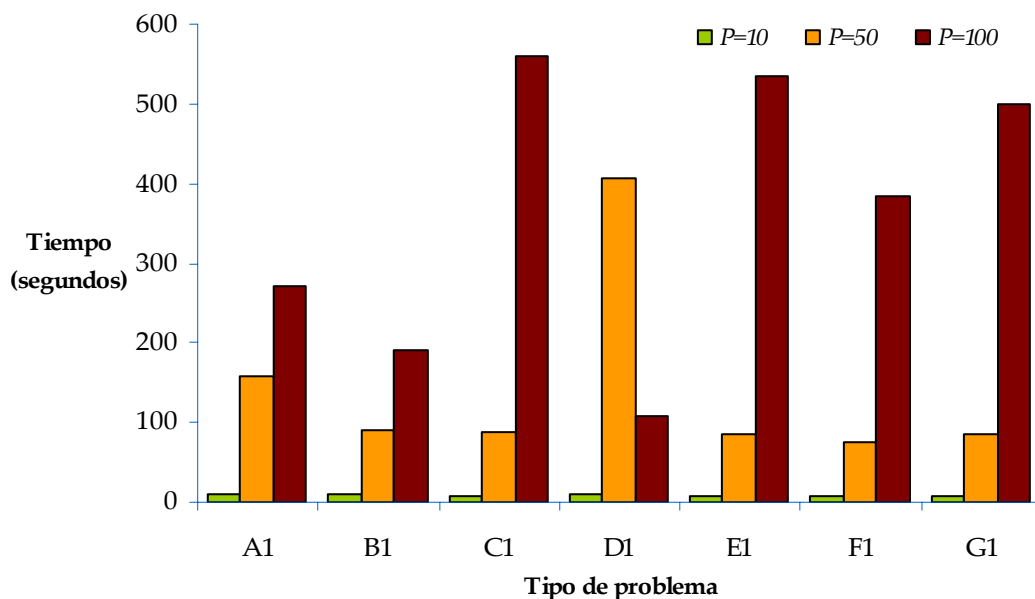


Figura 8.16. Gráfico de tiempos para lograr el óptimo de los casos de tipología VII con una $H=50$ y $P=[10,50, 100]$ en los diferentes tipos de problemas.

También se realizó la experimentación para unos algunos ejemplos, cambiando el tamaño de bloque (para esta casuística se utilizo un *bloque*=2 intervalos para cada tipo de tarea). Estos casos experimentados fueron para los problemas de tipo *A1* (descrito en la tabla 8.55) para todas las tipologías consideradas en el caso hipotético y los diferentes valores de *H* y *P*.

En la figura que se presenta a continuación (figura 8.17) se hace una comparación de las soluciones obtenidas en esta casuística y la realizada con la utilización de un *bloque*=1, para este tipo de problema (*A1*). La comparación se hace en base al tipo de solución que se obtuvo para cada caso, contabilizando por un lado aquellas en que se logró la asignación óptima, por otro los casos en que únicamente se consiguió una asignación factible y por último se contabiliza en una tercera clase los casos para los cuales no se encontró ninguna solución. Esta comparación se expresa en proporciones, respecto a la cantidad total de ejemplares tratados del problema tipo *A1* con cada valor de *bloque* considerado (108 casos en total). En la figura (8.17) se observa que para los ejemplares que se tiene un *bloque*=1 mejores resultados.

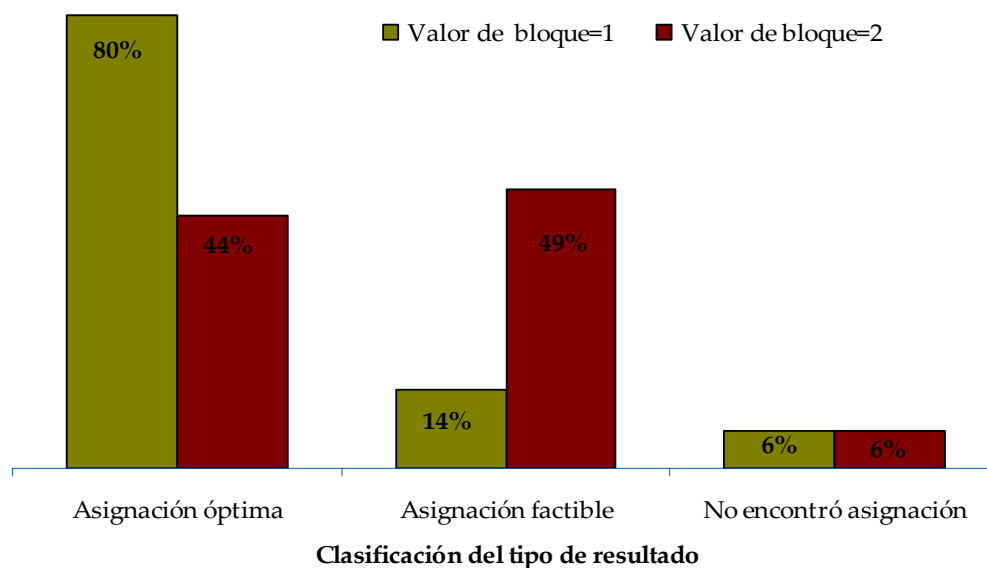


Figura 8.17. Comparación de los resultados obtenidos considerando dos valores para *bloque* [1,2]. El problema es de tipo *A1*, con tipología [I,II,III], $H=[12,50,100,168]$, $P[10,50,100]$.

Los tiempos en que se logró obtener la asignación óptima para los ejemplos de tipología *I,II,III* están representados en el gráfico de la figura 8.18. Este gráfico muestra que para cada uno de los casos incluidos, no hay mucha diferencia del tiempo consumido para llegar al óptimo, con los dos diferentes valores de *bloque* (1,2). Todos los ejemplos mostrados en ese gráfico pertenecen a los que contienen solamente dos tipos de tareas, por lo que las diferencias mostradas en la figura anterior (8.17) entre ambos valores de *bloque*, se afectan por el aumento en el número de tipo de tareas (*T*).

En el gráfico (figura 8.18) como se ha dicho sólo se presenta los ejemplos con valor de $T=2$, porque para los casos experimentados con un valor de *bloque*=2 y con un tamaño mayor de *T*, disminuyen las asignaciones óptimas conseguidas y no sería muy representativa la comparación.

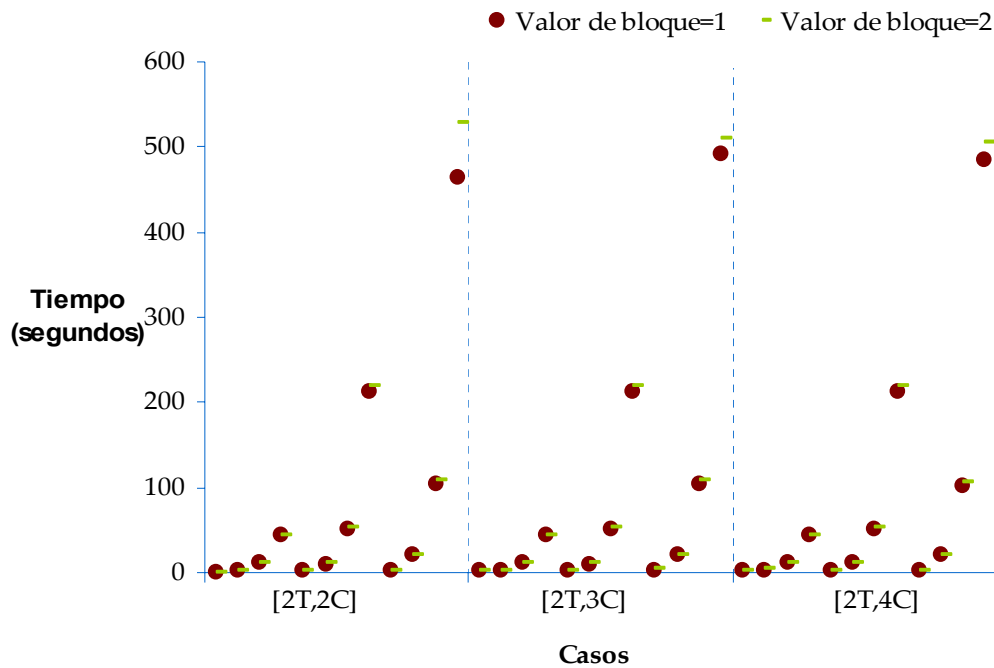


Figura 8.18. Gráfico que representa el tiempo consumido para lograr la asignación óptima, para el problema es de tipo A1, con tipología [I,II,III], $H=[12,50,100,168]$, $P=[10,50,100]$, $bloque=[1,2]$.

8.2.4.3. Comparación de la asignación por rango vs. por bloque.

En los dos apartados anteriores se exhibe la experimentación para los casos de asignación, donde se considera por un lado la búsqueda de la asignación considerando los intervalos continuos de trabajo de tipo rango (*BCR*) y luego se realiza la experimentación aplicando la característica del trabajo continuo regida bloques (*BCI*).

Aquí se presenta una comparación del problema *C* y *C1* (con su respectiva característica de intervalos continuos de trabajo), con las diferentes tipologías (*I* a la *IX*), así como los valores de *H* y *P*, que componen el caso hipotético que se ha experimentado (apartado 8.2.2) y por supuesto con el tiempo límite de 900 segundos preestablecido para la búsqueda del óptimo.

Para el problema tipo *C* el caso más grande para el que se llegó a la asignación óptima es de tipología *VII* [5*T*, 2*C*] con $H=100$, $P=100$ y 305836 restricciones y 139132 variables. En cambio para el tipo *C1* el caso más grande en que logró el óptimo de tipología *II* [2*T*, 3*C*], $H=168$, $P=100$ con 238564 restricciones y 104292 variables.

Para los diferentes ejemplares experimentados (108 casos) de cada tipo de problema (*C* y *C1*), la figura 8.19 presenta una clasificación de los resultados obtenidos y hace una comparación de los resultados de ambos tipos de

problemas. Esta clasificación es la misma ya presentada en la figura 8.17, y consiste en separar los resultados en tres condiciones: casos en que se logró la asignación óptima, aquellos en que sólo se obtuvo una asignación factible y un tercero computa los casos en que no fue posible conseguir una asignación. En la figura (8.19) se muestra que para ambos tipos de problemas en que únicamente difieren en lo que se refiere a la característica de los intervalos continuos de trabajo, se pueden ver resultados similares, y las proporciones de los tres conjuntos de resultados tienen valores muy parecidos.

Aunque para los ejemplares tratados con rangos, las asignaciones óptimas (71%) son algo inferior a los tratados con bloques (75%), compensa esta diferencia con la proporción de ejemplares en que se logró una asignación factible para un 21% de estos, mientras que en la de bloques sólo se llega al 15%, y las proporciones de ejemplares en que no se consiguió asignación quedan muy cercanas (7% para rango y un 10% para bloque).

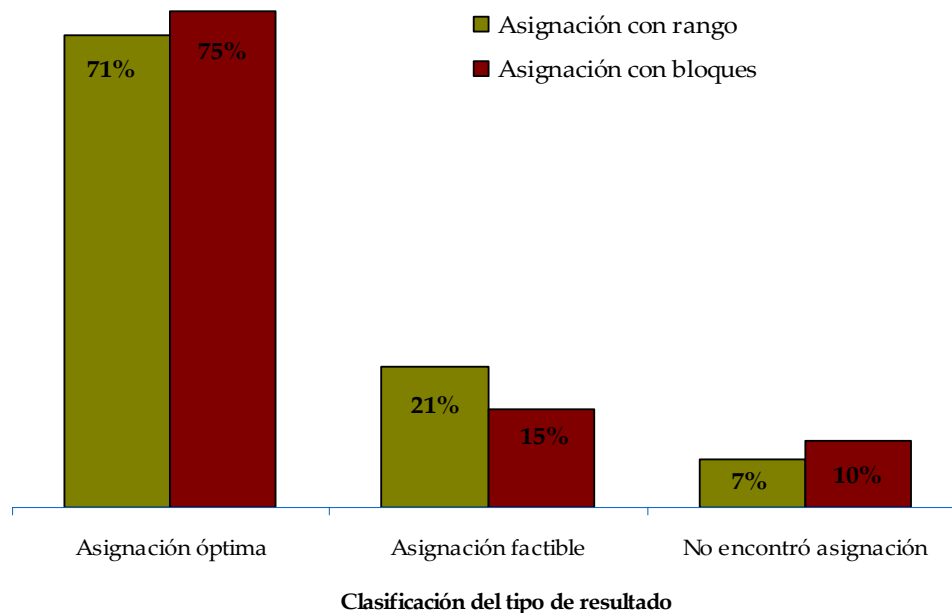


Figura 8.19. Comparación de los resultados obtenidos considerando los problemas de tipo C y C1, con las diferentes tipología, $H=[12,50,100,168]$, $P[10,50,100]$.

En la figura 8.20 se presenta la tarea asignada a lo largo del horizonte de asignación ($H=12$) para una persona específica, con el valor $T=2$. Se muestra en la misma figura, la tarea que es asignada en cada intervalo de tiempo según el tipo de problema que se está tratando (C y C1). En ella podemos ver que el tipo de tarea asignada se va alternando, respetando el número de intervalos continuos establecidos para cada tipo de problema.

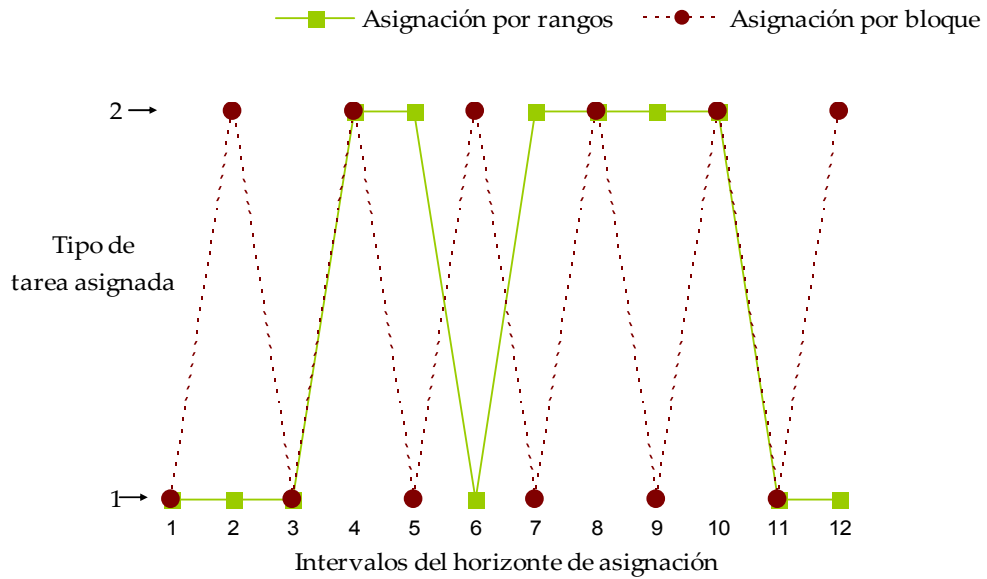


Figura 8.20. Indica para los tipos de problemas *C* y *C1* la tarea asignada a una persona en cada intervalo, con $T=2$ y $H=12$.

8.2.4.4. Aumento progresivo del horizonte de asignación (BCR)

Se ha realizado la experimentación para la tipología VI (según tabla 8.26) del problema tipo E (tabla 8.54), alterando únicamente uno de los parámetros (horizonte de asignación). Esto se ha realizado para evaluar el comportamiento del modelo propuesto en esta tesis (*BCR*) y visualizar como afectan los valores de los parámetros en la búsqueda de la asignación óptima.

El ejemplar del problema especificado en el párrafo anterior, está constituido por 3 tipos de tareas y 2 categorías; considerando para la experimentación un valor de $P=10$, donde únicamente se alterna el parámetro que corresponde al horizonte de asignación $H=[10, 20, \dots, 300]$.

En la tabla A.60 (anexo) se detalla para cada uno de los ejemplares experimentados en esta casuística, los datos concernientes al número de variables y restricciones que son generadas; así como también, el tiempo y la cantidad de iteraciones necesarias para lograr la asignación óptima del personal en las diferentes tareas.

Al realizar esta experimentación se pudo apreciar como se va incrementando el tamaño del modelo conforme se aumenta el horizonte de asignación. Usando como referencia la cantidad de variables generadas con cada uno de los valores de H experimentados, el aumento se da de forma lineal ($y= 101x+ 126$, con $R^2=1$).

A continuación se presenta en la figura 8.21, el gráfico donde se aprecia como aumenta el tiempo que consume el modelo para lograr la asignación óptima, conforme se va incrementando el tamaño del horizonte de asignación (parámetro H). Se incluye también en la figura (8.21), la línea de tendencia que existe para distribución de los datos en el gráfico. Está línea representa la función $y = 0,006x^2 - 0,7274x + 21,94$ (polinomial), que tiene un valor de $R^2 = 0,9961$.

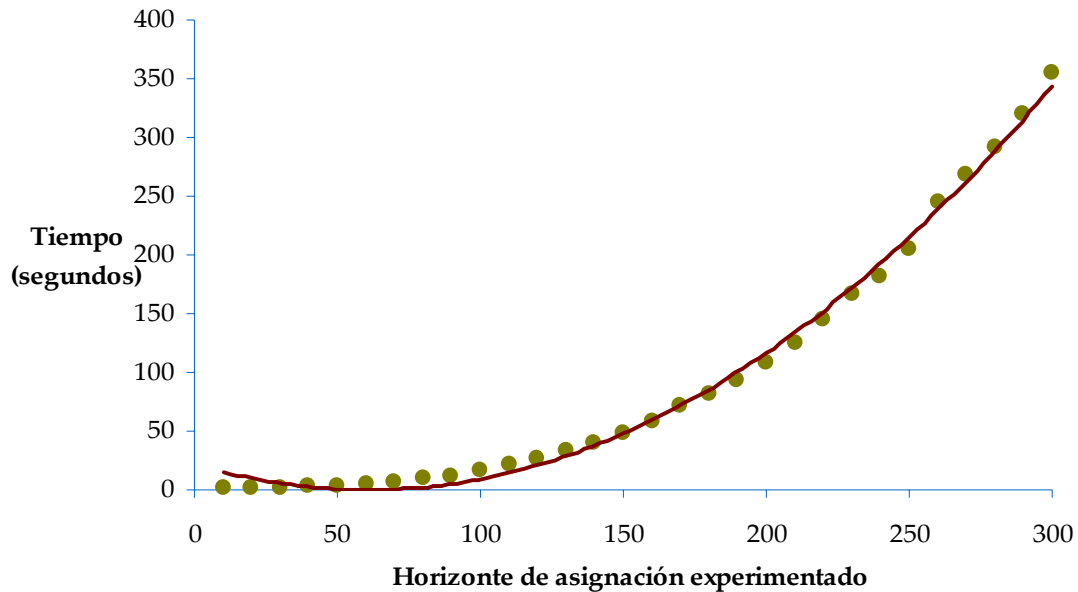


Figura 8.21. Gráfico que representa el tiempo requerido para encontrar la asignación óptima acorde al valor de H , experimentados en el ejemplar de tipología VI.

Usando como referencia la cantidad de iteraciones realizadas para conseguir la asignación óptima, se presenta el gráfico siguiente (figura 8.22). Donde se puede observar que el aumento en el número de iteraciones ejecutadas por el modelo para lograr su objetivo, presenta una tendencia polinomial ($y = 0,1309x^2 + 27,944x - 230,71$ con $R^2 = 0,9372$) vinculada al valor de H en el ejemplar experimentado.

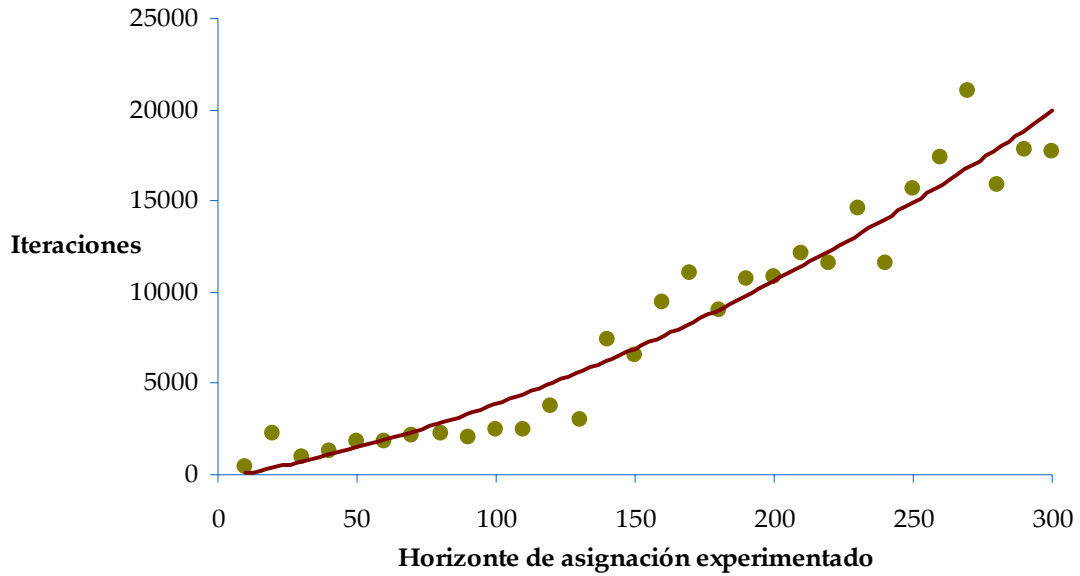


Figura 8.22. Gráfico que representa el número de iteraciones realizadas para llegar a la asignación óptima acorde al valor de H, experimentado en el ejemplar de tipología VI.

Por último, analizando el funcionamiento del modelo en la casuística experimentada en este apartado, se muestra en la figura 8.23 el gráfico que relaciona el número de iteraciones realizadas y su respectivo tiempo consumido para alcanzar el óptimo. La línea de tendencia (tiempo-iteraciones) es de tipo potencial ($y= 5E-05x^{1,5674}$) con valor $R^2=0,9347$ y se puede visualizar en el mismo gráfico.

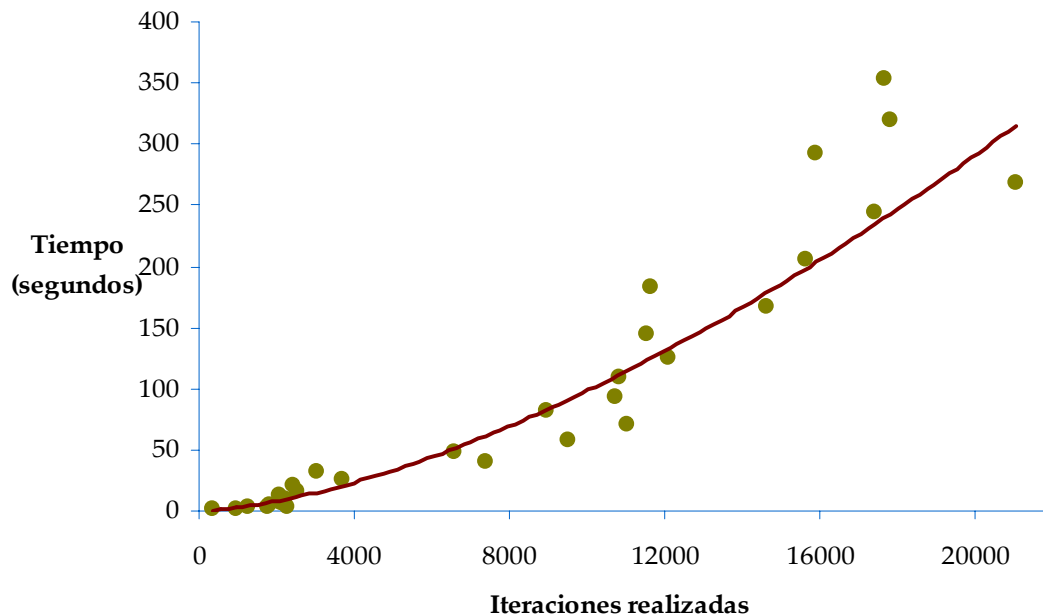


Figura 8.23. Gráfico que representa el tiempo consumido para llevar a cabo las iteraciones necesarias para lograr la asignación óptima de los diferentes experimentos del ejemplar de tipología VI

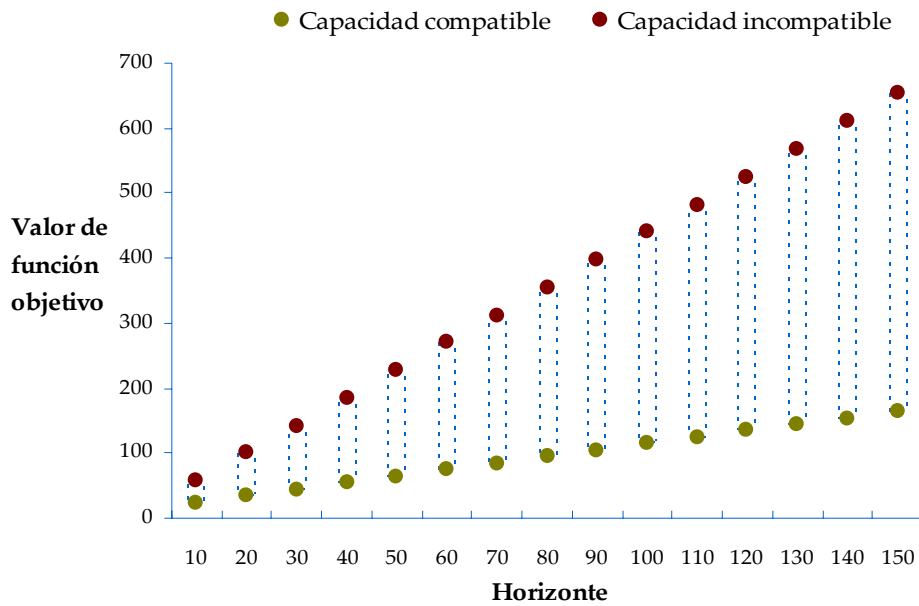
8.2.4.5. Capacidad incompatible vs. compatible (BCR)

Toda la experimentación expuesta hasta ahora del caso hipotético se concreta en la utilización de la capacidad de personal de tipo incompatible. Para hacer una comparación de la asignación que se consigue con la aplicación del modelo al involucrar los dos tipos de capacidad, se ha realizado una experimentación particular de asignación por rangos; la cual consistió en buscar la asignación óptima de un caso específico, considerando la capacidad de tipo incompatible y luego para el mismo caso se volvió realizar la experimentación haciendo uso del tipo de personal con compatibilidad.

El caso utilizado en esta aplicación práctica del modelo (BCP), fue de tipología I (tabla 8.27) considerando diferentes tamaños para horizonte de asignación $H=[10...150]$ y un valor de $P=10$. Además los valores vinculados al parámetro de naturaleza de las tareas (n_i) también se diferencia del que se ha utilizado en el resto de la experimentación de la casuística hipotética (indicado en apartado 8.2.1), aquí el valor fijado es $n_i=0,5$ para ambas tareas.

A continuación se presenta en la figura 8.24 un gráfico donde se indica el valor de la función objetivo obtenido, al lograr la asignación óptima para cada uno de los casos que conforman esta casuística. El gráfico se ordena conforme a los valores de H experimentados, donde para cada uno de ellos, se indica el valor de la función objetivo obtenido al hacer uso de un personal compatible, así como el valor obtenido al utilizar la capacidad tipo incompatible. En esta figura (8.24), tomando como referencia la asignación óptima que mejor se ajuste al logro de los objetivos, se observa que el tener un personal compatible es preferible al uso de personal incompatible.

En ambos tipo de casos experimentados, se pudo observar que crece el valor la función objetivo conforme al aumento del horizonte de asignación de forma lineal. Donde para los casos con capacidad incompatible se tiene una función de tendencia $y=42,5x + 15$ ($R_2=1$) y para el compatible $y=10x + 14$ ($R_2=1$)



8.24. Gráfico de valor objetivo para casos de tipología I (2T, 2C), con $P=100$ y $H=[10\dots150]$ con personal de tipo incompatible y compatible

En la figura 8.25 se expone el tiempo consumido en el proceso de búsqueda de la asignación óptima para cada uno de los casos y los diferentes tamaños de horizonte de asignación experimentados. En el gráfico se muestra para cada valor de H , el tiempo requerido para lograr la asignación óptima en cada tipo de capacidad de personal. De igual forma el gráfico que se presenta en la figura 8.26, indica a los diferentes valores de H y la cantidad de iteraciones realizadas para llegar a la asignación óptima, todo ello para cada tipo de personal involucrado ya sea incompatible o compatible.

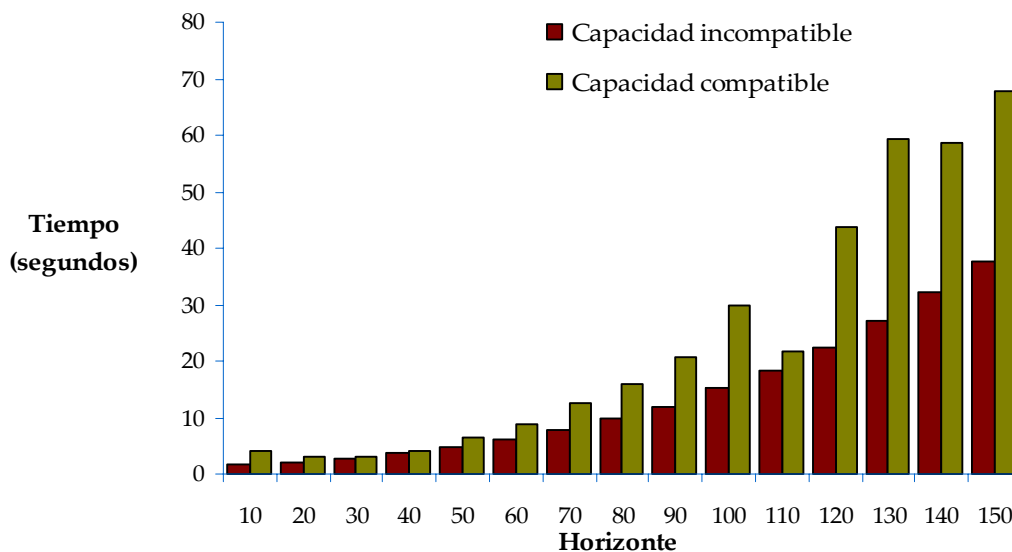


Figura 8.25. Gráfico de tiempo consumido para lograr la asignación óptima de casos de tipología I (2T, 2C), con $P=100$ y $H=[10\dots150]$ con personal de tipo incompatible y compatible.

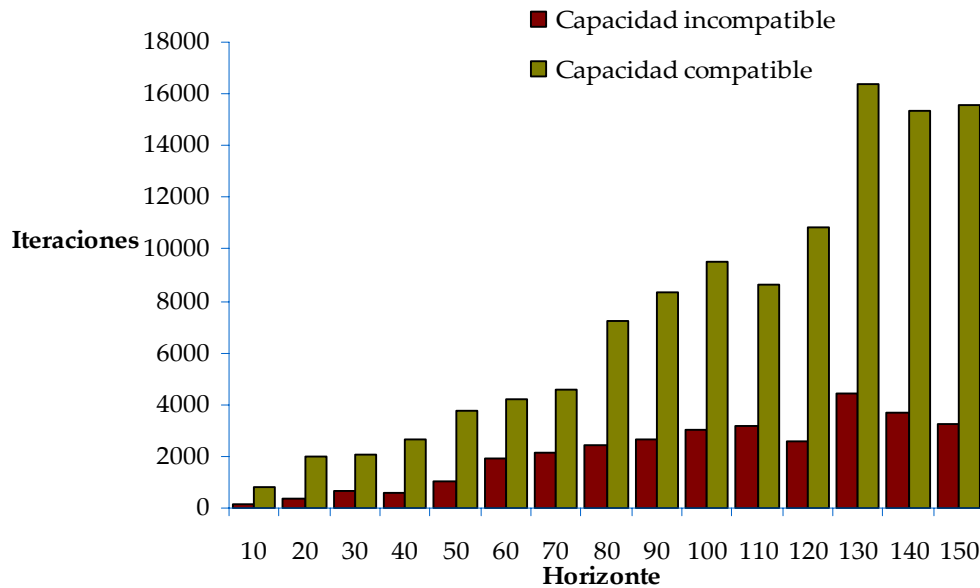


Figura 8.26. Gráfico de cantidad de iteraciones realizadas para lograr la asignación óptima de casos de tipología I (2T, 2C), con $P=100$ y $H=[10\dots150]$ con personal de tipo incompatible y compatible

8.2.5. Reasignación (modelo RCR).

Para validar el modelo de reasignación (considera un historial de asignación para llevar a cabo la nueva asignación) se ha tomado como referencia los tipos de casos A,B, D y F descritos en la tabla 8.54, para los cuáles se ha desarrollado la experimentación correspondiente a las tipologías I, II y III (8.26), con un valor de $P=[10,50,100]$. En la tabla 8.58 se detalla los tres tamaños de (H) horizonte considerados, así como el valor de ha (intervalo de reasignación) para cada H .

	Horizonte (H)		
	50	100	168
Intervalo de reasignación (ha)	12	50	100

Tabla 8.58. Dato del intervalo donde se lleva a cabo la reasignación para cada H específico

Para cada uno de estos casos experimentados, las tablas A.61 a la A.64 contenidas en el anexo, lista los datos correspondientes a su número de variables, restricciones, así como el tiempo y las iteraciones en que se logró la asignación óptima para los intervalos en los que fue necesario reasignar las tareas al personal.

Se consiguió la reasignación óptima para un total un 75% de los casos aquí experimentados, para un 4% solo se logró una solución factible con un 5% de tolerancia con respecto a la cota y para el resto de los casos(21%) no se

consiguió la reasignación en el tiempo limite establecido con anterioridad (900 segundos).

En la tabla 8.59 se muestra en porcentajes la cantidad de ejemplares en que se pudo lograr una resignación óptima (75%). Se ha clasificado los valores en la tabla, conforme a la cantidad de personal (ordenados en las filas), y para cada fila se consideran las columnas correspondientes al horizonte en que se llevó a cabo la reasignación, que, cómo se ha indicado en la tabla 8.57, cada horizonte tiene un intervalo específico con el que se lleva a cabo la reasignación.

Personal (P)	Horizonte (H)		
	50	100	168
10	100%	100%	92%
50	100%	83%	42%
100	92%	67%	0%

Tabla 8.59. Porcentaje de ejemplares en que se pudo lograr la reasignación óptima para la reasignación experimentada.

Para los ejemplares de tipología I experimentados en este apartado, se presenta la figura 8.27, donde se grafica el tiempo requerido para lograr la reasignación en los casos en que se tiene un valor de $H=50$ y su correspondiente $HA=12$. En el gráfico se observa como aumenta el tiempo requerido conforme aumenta la cantidad de personal, esto se corrobora en los cuatro diferentes tipos de problemas considerados en el gráfico (A, B, D, F).

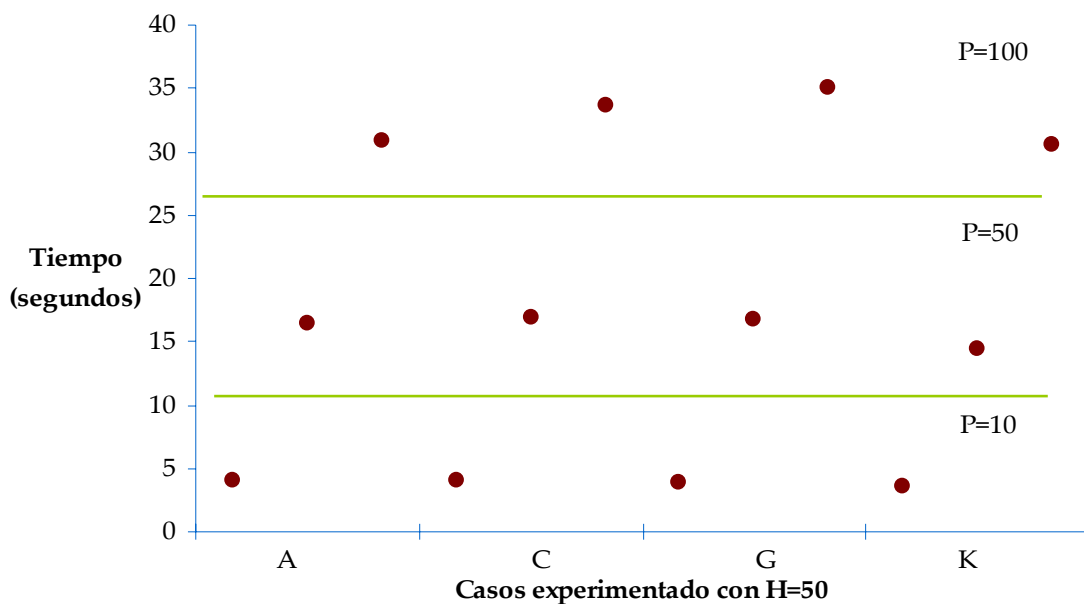


Figura 8.27. Gráfico de tiempo necesario para lograr la reasignación óptima para los cuatro tipos de problemas (A, B, D y F) con un valor $H=50$ y $HA=12$.

8.2.6. Concatenación (*modelo ACR*)

Se ha realizado la experimentación para validar el modelo de concatenación de horizontes, utilizando el problema tipo A (tabla 8.54) para la tipología de problemas I, especificada en la tabla 8.27 y unos valores de $P = [10, 50]$. Para los ejemplares se consideró un horizonte de asignación $H=[100, 200]$, combinados con los diferentes valores de $hc=[10h...90h]$ (*intervalos ya asignados*). El tamaño de horizonte total de asignación que se forman en la experimentación va de los 110h a 290h. Tomando por ejemplo la unión de $H=100$ y $hc=10$ da como resultado un tamaño de horizonte total de asignación concatenado de $H^A=110 h$.

Para las diferentes combinaciones de concatenación experimentadas, con los valores de P utilizados y los dos diferentes horizontes totales de asignación, se presentan las tablas 8.60 (para $H=100 h$) y 8.61 (para $H=200 h$). Donde se detallan para cada uno de los casos, los datos correspondientes al número de variables, restricciones, así como el tiempo y número de iteraciones realizadas para llegar a la asignación óptima de cada caso. En estas tablas se puede observar para los ejemplares en que el tamaño de ha (intervalos que ya están asignados) es mayor a la mitad del tamaño de H no fue posible llegar a una asignación factible.

casuística			Tiempo	Iteraciones	Variables	Restricciones
hc	H	P				
10	100	10	8,84	2585	11686	258046
20			9,71	2462	11886	304446
30			11	1695	12086	354846
40			12,39	1446	12286	409246
50			13,89	1011	12486	467646
60			No factible			
70			No factible			
80			No factible			
90			No factible			
10		50	121,70	5093	52806	1283806
20			177,33	5110	53806	1515806
30			237,19	6048	54806	1767806
40			302,72	5529	55806	2039806
50			372,14	4251	56806	2331806
60			No factible			
70			No factible			
80			No factible			
90			No factible			

Tabla 8.60. Datos de los ejemplares experimentados con concatenación de horizontes, donde se tiene un horizonte de asignación de 100 intervalos.

casuística			Tiempo	Iteraciones	Variables	Restricciones	
<i>hc</i>	<i>H</i>	<i>P</i>					
10	200	10	39,07	5953	23086	913646	
20			43,63	5206	23286	1000046	
30			48,09	5294	23486	1090446	
40			59,46	3801	23686	1184846	
50			84,97	4072	23886	1283246	
60			101,65	3429	24086	1385646	
70			103,68	3123	24286	1492046	
80			93,43	2918	24486	1602446	
90			105,38	2197	24686	1716846	
10			50	121,70	5093	52806	1283806
20		177,33		5110	53806	1515806	
30		237,19		6048	54806	1767806	
40		302,72		5529	55806	2039806	
50		372,14		4251	56806	2331806	
60		No encontró solución					
70		No encontró solución					
80		No encontró solución					
90		No encontró solución					

Tabla 8.61. Datos de los ejemplares experimentados con concatenación de horizontes, donde se tiene un horizonte de asignación de 200 intervalos.

Un segundo experimento se ha realizado haciendo la concatenación de un valor fijo $h_a=10$ concatenado con diferentes tamaños de $H=[20\dots140]$, lo que nos da un horizonte total de asignación de $H^A=[30h\dots150h]$. También se utiliza el caso tipo A (8.54) para las tipologías I, IV y VII; considerando los valores $P=[10, 50]$.

En la tabla A.65 (anexo) se presentan los datos correspondientes a cada uno de los experimentos realizados de esta casuística, donde se incluye para cada tamaño total de concatenación (suma de h_c y H), el tiempo y las iteraciones para llegar a la asignación óptima para los diferentes valores de H considerados.

Para estos casos experimentados, se hace en la tabla 8.62 una comparación del tiempo en el que se obtuvo la asignación óptima para los casos de tipología I con $P=[10,50]$ y los diferentes tamaños de horizonte total de la experimentación ($30 h\dots150 h$). Dicha comparación se hace tomando como referencia el tiempo consumido para llegar al óptimo considerando el horizonte de asignación como un solo valor H (caso de asignación), y el mismo valor de horizonte total compuesto por la concatenación de un valor

de $hc=10$ con un valor H para el que se hace la asignación óptima (caso de concatenación).

En la tabla (8.62) la primera columna de la tabla hace referencia al valor H^A (en el caso de asignación y $ha + H$ en el de concatenación), la segunda columna nos indica los valores específicos para la combinación hecha en la concatenación, la tercera columna se refiere al valor de P y en la última columna se listan los tiempos que corresponden al caso tratado como asignación y como concatenación de horizonte.

Horizonte H^A	Horizonte concatenado		P	Tiempo (segundos) Según sea la aplicación.			
	ha	H		Asignación	Concatenación		
30	10	20	10	1,69	2,61		
40		30		2,13	2,94		
50		40		2,94	3,48		
60		50		4,03	4,09		
70		60		5,30	4,78		
80		70		7,00	5,81		
90		80		8,94	6,95		
100		90		11,70	7,78		
110		100		14,43	8,94		
120		110		17,91	10,33		
130		120		21,55	12,86		
140		130		27,33	10,63		
150		140		29,81	16,33		
30		50		20	50	5,17	7,59
40				30		9,11	9,83
50	40		14,52	13,69			
60	50		20,34	21,58			
70	60		28,20	28,70			
80	70		30,11	50,77			
90	80		43,31	49,99			
100	90		52,55	69,52			
110	100		67,63	121,78			
120	110		88,55	184,24			
130	120		97,57	286,50			
140	130		129,86	408,33			
150	140		140,34	401,44			

Horizonte: es el valor de H^A para el ejemplo de asignación y es la suma del $hc + H$ en la concatenación

Tabla 8.62. Tiempo requerido para llegar a la asignación óptima considerando el mismo horizonte de asignación como un caso de asignación y concatenación

A continuación se presenta en la figura 8.28, el gráfico con el número de iteraciones necesarias para llegar a la asignación óptima, correspondiente a la casuística que se describe en la tabla anterior (8.62); se confronta para cada

uno de los casos, la búsqueda de la asignación óptima, basada en realizar la asignación para el horizonte total o bien llevarla a cabo de forma concatenada. El gráfico representa para cada valor de horizonte total, la cantidad de iteraciones vinculadas al caso afrontado como asignación y las pertenecientes al trato de concatenación de intervalos, considerando los casos donde se considera $P=50$.

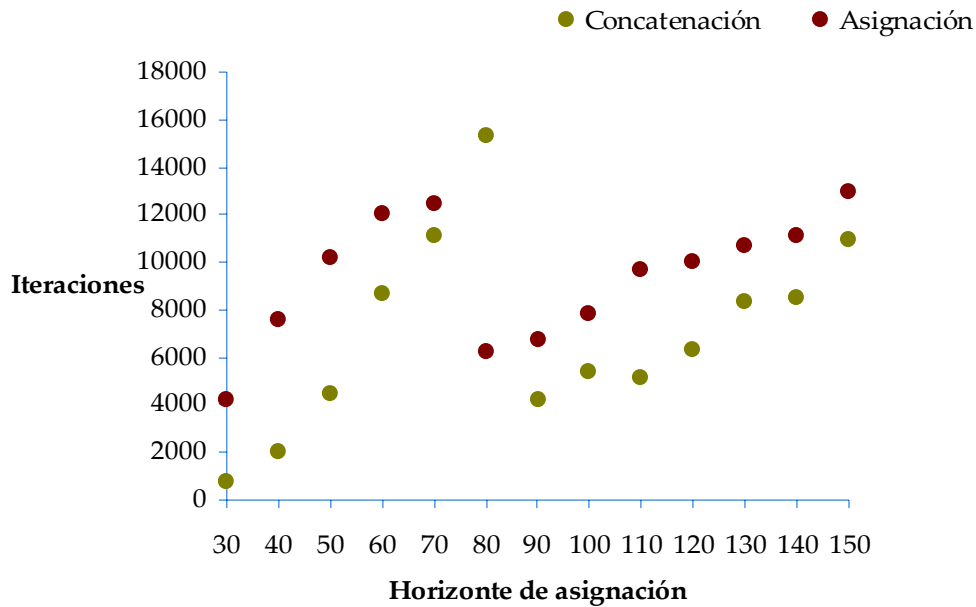


Figura 8.28. Gráfico que muestra el número de iteraciones realizadas para llegar al óptimo para un horizonte de asignación determinado [30...150] realizado por asignación y concatenación.

Se realizó una experimentación donde se concatenaban dos cantidades iguales de intervalos, pero se pudo comprobar lo ya expuesto en uno de los párrafos anteriores. No es posible concatenar intervalos donde hc sea mayor a la mitad del tamaño de H en el que se va llevar a cabo la asignación.

8.2.7. Conclusiones de la experimentación del caso hipotético

Según los resultados obtenidos y su análisis respectivo realizado a lo largo del apartado 8.2 podemos concluir:

- Que los modelos propuestos, demuestran una efectividad muy buena para resolver los problemas de asignación, como lo demuestran los datos graficados en la figura 8.12, y 8.15 donde se ve que gran cantidad de los casos 1512 experimentados se pudo obtener una asignación óptima para 1024 casos en un tiempo limite de 900 segundos y solo 150 (9,92%) no fue posible encontrar la asignación en este tiempo limite (óptima o factible).

- El modelo requiere un mayor número de iteraciones para encontrar un óptimo cuando se tiene una capacidad (personal disponible) exacta a la demanda, que en los casos en que se tiene una capacidad mayor a la requerida (figura 8.13).
- El tiempo consumido para encontrar el óptimo, tanto para la asignación, reasignación y concatenación, depende más directamente de los datos del ejemplar y menos del tipo de característica considerada, esto se muestra en la figura 8.14, donde se puede ver que el tiempo consumido en los para los diferentes tipos de problemas para un mismo ejemplar (datos) presentan la misma tendencia de tiempo requerido para lograr la asignación óptima. Hablando de la influencia de los datos en la complejidad del problema, se puede observar en la figura 8.17 como al variar el tamaño del bloque influyó en la cantidad de ejemplares en que se pudo conseguir el óptimo. También se puede observar en la figura 8.19 los resultados presentados en los apartados 8.2.4.4, 8.2.5 y 8.2.6 que influyen mucho los datos de partida del ejemplar en la complejidad del problema.
- En referencia al funcionamiento del modelo en los problemas en que el personal ha de pasar un tiempo exacto en cada tarea (trabajo por bloques), es más difícil llegar a una asignación óptima cuando existen más tipos de tareas, como se puede ver en el resumen presentado en la tabla 8.56.
- El logro del óptimo para los diferentes casos de asignación depende de los datos, ya que éstos son los que determinan el tamaño de problema a tratar. El modelo puede resolver problemas muy grandes, como se ha demostrado, por ejemplo referente a la utilización del *modelo BCI*, el caso mayor para el cual se obtuvo el óptimo contenía 239237 restricciones, 104629 variables las cuales corresponde a unos datos de $H=168$, $P=100$ y 2 tipos de tareas y 4 categorías de personal.(tabla 8.57)
- Analizando los gráficos de las figura 8.25 y figura 8.26, podemos concluir que es más rápido conseguir una asignación óptima, cuando el personal sólo puede asignarse únicamente a una tarea. Pero podemos obtener una mayor satisfacción de los objetivos si tenemos un personal al que se le pueda asignar más de una tarea a la vez.

- El modelo de concatenación de horizontes, encuentra solución únicamente para los problemas, en que el tamaño de horizonte en el que se va realizar la asignación, sea mayor o igual al doble del tamaño del horizonte en que ya ha sido realizado la asignación. Tabla 8.60.
- La comparación realizada llevando a cabo la asignación dividiendo el horizonte y luego concatenarlos, resulta positivo para casos en que se tiene poca cantidad de personal, pero conforme aumenta la cantidad de personal en el problema, el modelo consume más tiempo para lograr una asignación óptima, sin embargo el número de iteraciones requeridas al concatenar siempre resulta menor. (tabla 8.62, figura 8.28).

8.3. Software y equipo utilizado

Para llevar a cabo la experimentación, se ha utilizado ILOG-OPL Studio versión 3.7 con librerías de ILOG-CPLEX 9.0), en un ordenador *Pentium 4* a 2.99 GHz con 512 MB de RAM.

La experimentación se ha realizado utilizando las tolerancias preestablecidas por el ILOG-OPL Studio como estándar, donde el valor para la tolerancia absoluta es de $1e-006$, para la relativa es de $2e-004$. También han sido tratados algunos ejemplares con otras tolerancias, y dichos casos son descritos en el apartado de resultados con los valores de tolerancia utilizados para cada caso en específico.

CAPÍTULO 9

CONCLUSIONES Y EXTENSIONES FUTURAS

En este capítulo se exponen las conclusiones, las aportaciones y las posibles extensiones, teniendo en cuenta los objetivos proyectados para el desarrollo de esta tesis doctoral.

Se destacan las contribuciones que esta tesis proporciona para el progreso del estudio de la organización del tiempo de trabajo y en específico en la asignación de tareas, ámbito en que se centra esta tesis doctoral.

Además se proponen las extensiones de trabajo futuras, que permitan seguir en esta misma línea de investigación de la problemática de asignación de tareas y que resultan importantes para un avance progresivo en este ámbito laboral, lo cual permitirá el uso de las ventajas que en estos días ofrece la flexibilidad laboral y esta como una herramienta de ayuda para las organizaciones y de beneficio también para los individuos.

9.1 Conclusiones y aportaciones

Conforme al trabajo realizado y presentado en esta tesis doctoral, las conclusiones y aportaciones más relevantes, son las siguientes:

- Se presenta una perspectiva general del problema de asignación de tareas dentro del ámbito la organización del tiempo de trabajo,

obtenido con un análisis bibliográfico, lo cual ha permitido la definición y clasificación de las diferentes características que se pueden presentar en la asignación de tareas, así como la identificación de la diversidad de criterios de que se dispone para la búsqueda de la asignación más apropiada acorde a las necesidades y preferencias del tomador de decisiones. Como resultado de lo anterior se definió la diversidad de problemas de asignación.

- Se propone un procedimiento general multicriterio, modelado en programación lineal entera mixta, que permite la obtención de la asignación óptima de las tareas, considerando en el modelo una amplia gama de características y la diversidad de criterios de evaluación. El modelo no se limita a su aplicación para un sector específico, ya que fue diseñado con flexibilidad para permitir adaptarse con facilidad a las prioridades y a las necesidades según el sector y/o ambiente de trabajo en que convenga utilizarlo.
- El procedimiento propuesto constituye una herramienta que favorece el uso de la flexibilidad laboral, ya que contribuye que las organizaciones consigan distribuir al personal en las diferentes tareas conforme a sus necesidades y las características del personal del que dispone; lo cual es de gran utilidad en la búsqueda de la ventaja competitiva que da el adaptarse de manera eficaz a las necesidades del mercado. Como ya se ha dicho las necesidades del mercado son cambiantes, por lo que el procedimiento propuesto permite llevar a cabo también la reasignación o concatenación de horizontes de asignación en caso necesario.

En cuanto a la experiencia computacional podemos señalar que:

- Con los modelos experimentados, se demostró que el procedimiento propuesto es eficiente para resolver los problemas de asignación de tareas (o bien la reasignación y concatenación), y se pudo observar la afectación en los resultados dependiendo de la prioridad que se de acuerdo a los diferentes criterios que constituyen la función objetivo de evaluación.
- La experimentación permitió comprobar que el tiempo de ejecución no sólo está relacionado con la cantidad de variables y de restricciones que se impliquen (tamaño del problema), sino también con los datos de partida del caso que se plantea resolver.

- Se pudo observar con la experimentación que el procedimiento puede resolver problemas muy grandes, ya que en cuanto al caso real experimentado, se logró la asignación óptima para una semana de trabajo (90 h) de 150 personas (P) con 4 tipos de tareas (T) y 4 tipos de categorías (C), y referente a la casuística hipotética se consiguió la asignación óptima dentro del tiempo límite (900 segundos) para casos hasta con un horizonte de 168 h involucrando 100 personas (P), con 4 tipos categorías (C) y 3 tipos de tareas (T), así como casos en que las 100 personas (P) estaban clasificadas en hasta 5 tipos de categorías (C) para un horizonte de 100 h. El caso más grande en que se llegó al óptimo se obtuvo en un tiempo de 877,74 segundos, contenía 324453 restricciones y 140141 variables.
- Se comprobó las ventajas que suponen algunas características específicas del personal. Como lo es la utilización de personal totalmente polivalente, ya que aumenta la capacidad disponible que puede ser asignada en cada una de las tareas y es una pieza clave para el uso de la flexibilidad, así como también el poder asignar más de una tarea a una persona a la vez, siempre y cuando sea permitido por la naturaleza de tareas que se están asignando.
- La adaptación del modelo para la experimentación del *caso real ESERVICIO* presentando, demuestra la flexibilidad del modelo para adecuarse con facilidad a las características propias del problema de asignación de tareas que se quiera resolver con la aplicación del procedimiento propuesto.

9.2 Extensiones futuras

Como ya se ha mencionado hay una gran diversidad de características y el modelo que se ha propuesto considera algunos tipos de cada una de ellas, por lo que nos puntualizamos como futura línea de trabajo, el adicionar al modelo los tipos de otras características no consideradas, logrando con ello abordar mayor diversidad de casuísticas del problema de asignación y que reflejan mejor la realidad. Dichos tipos de características son:

- Considerar la afectación entre personas en el desempeño del trabajo de las diferentes tareas. Con esto nos referimos al fenómeno que se puede generar por compartir tareas entre el personal, lo que puede dar lugar a un beneficio positivo obtenido por un mejor rendimiento del personal al compartir el desarrollo de tareas o bien que se de un fenómeno negativo con

el trabajo compartido, ya que el rendimiento del personal puede verse afectado por la distracción, conflictos, mala coordinación, etc.

- Posibilidad de plantear las tareas como un trabajo acumulado (adelantar y retrasar tareas) y manejarlo como si fueran stocks.
- Incluir la afectación entre tareas, es decir que para que se realice una tarea, se debe estar realizando otra al mismo tiempo o la necesidad de realizar una tarea como requisito para el desarrollar otra.
- Adecuar el modelo para también poder aplicarlo a los casos en que se que consideren casos con una demanda aleatoria.

El procedimiento propuesto en la tesis parte del concepto que los datos de los problemas a tratar ya son conocidos con anterioridad y se desconoce cómo fueron adjudicados sus valores. Por lo que, para complementar el estudio sobre la asignación de tareas, se considera importante el desarrollo de procedimientos para definir los datos que se involucran en los casos a tratar, tales como:

- La determinación de los intervalos de tiempo que ha de pasar el personal en una misma tarea de forma continua, definidos por medio de la curva de rendimiento del personal.
- Determinación de la capacidad del personal para llevar a cabo las tareas, dependiendo de sus conocimientos, habilidades, entrenamiento y experiencia.
- Definición de la rotación del personal apropiada por las diferentes tareas para mantener el entrenamiento del personal, habilidades, teniendo en cuenta el aspecto ergonómico (esfuerzo, desgaste físico y/o mental, exposición al ruido, etc.).
- La obtención del valor que se otorga para el dato de la cantidad de capacidad equivalente requerida para desarrollar las tareas en un intervalo de tiempo.
- Así como sistemas fiables para evaluar y poder con ello dar el valor adecuado a las preferencias del personal y de la organización.

Desarrollar un procedimiento heurístico, para resolver problemas con mayor complejidad de características y también casos de mayor tamaño.

Y por último buscar la vinculación con organizaciones de diferentes sectores en los que se pueda llevar a cabo la aplicación del procedimiento que se propone, para darle una relevancia práctica, que permita evaluar el comportamiento del procedimiento de forma más aproximada a la realidad, así como evaluar los beneficios que se obtienen con su aplicación.

REFERENCIAS

- [1]. Abernathy, W.J., (1972). A three-stage manpower planning and scheduling model- A service-sector example. *Operations Research*. Vol. 21, 693-711.
- [2]. Atkinson S., (2005). Scheduling flexible work. www.flexibility.co.uk. Página web sobre el trabajo flexible. Consultado 01/04/2005.
- [3]. Albizu, E., (1997). Flexibilidad laboral y gestión de los recursos humanos. Editorial Ariel S.A.
- [4]. Aquilano, N.J., (1977). Multiskilled work teams: Productivity benefits. *California Management*. Vol. 19, No. 4, 17-22.
- [5]. Arthur, J.L., Ravindran, A., (1981). Multiple objective nurses scheduling model. *AIIE Transactions*. Vol. 13 (1), 55-60.
- [6]. Azmat, C.S., Hürlimann, T., Widmer, M., (2004). Mixed integer programming to scheduling a single-shift workforce under annualized hours. *Annals of Operations Research*. Vol. 128, 199-215.
- [7]. Azmat, C.S., Widmer, M., (2004). A case study of single shift planning and scheduling under annualized hours: A simple three'steps approach. *European Journal of Operational Research*. Vol.153, 148-175.
- [8]. Bergman, R., (1994). The key is cross-training. *Hospitals and Health Networks*. Vol. 68 (3), 34.
- [9]. Billionnet, A., (1999). Integer programming to schedule a hierarchical workforce with variable demands. *European Journal of Operational Research*. Vol.114, 105-114.
- [10]. Buffa, E.S., Cosgrove, M.W., Luce, B.J., (1976). An integrated work shift scheduling systems. *Decision Sciences*. Vol.7 (4), 620-630.
- [11]. Caille, J., (1993). Flexibilidad laboral es sinónimo de más empleo. www.expansion.com. Publicado 10/7/1993, consultado 01/04/2005.
- [12]. Campbell, G.M., (1999). Cross-utilization of workers whose capabilities differs. *Management Science*. Vol.45 (5), 722-732.

- [13]. Campbell, G.M., Diaby, M., (2002). Development and evaluation of an assignment heuristic for allocating cross-trained workers. *European Journal of Operational Research*. Vol.138, 9-20.
- [14]. Canroy M., (2001). *El trabajo flexible en la era de la información*. Editorial Alianza S.A. Madrid.
- [15]. Charnes, A., Cooper, W.W., (1961). *Management models and industrial applications of linear programming* / A. Charnes W. W. Casper. New York: J. Wiley & Sons, [1961].
- [16]. Cesaní, V.I., Steudel, H.J., (2005). A study of labor assignment flexibility in cellular manufacturing systems. *Computer & Industrial Engineering*. Vol.48, 571-591.
- [17]. Claver, E., Llopis, J., Lloret, M., Molina, H., (2000). *Manual de administración de empresas*. Editorial Civitas.
- [18]. Companys, P.R., (2004). *Teoría de la decisión II, utilidad, decisión, juegos y multicriterio*. Publicacions d'Abast S.L.L.
- [19]. Corominas, A., Crespán, J., (1993). *Organització del temps de treball*. Edicions UPC.
- [20]. Corominas, A., Ojeda, J., Pastor, R., (2005). Multi-objective allocation of multi-function workers with lower bounded capacity. *Journal of the Operational Research Society*. Vol.56, No.6, 738-743.
- [21]. Corominas, A., Pastor R., (2000). Un mètode per a la planificació d'horaris i d'activitats en serveis amb demanda estacional. IOC-DT-P-200-10, IOC-UPC.
- [22]. Corominas, A., Pastor, R., (2000). Assignació temporitzada de tasques al personal d'un centre de serveis. IOC-DT-P-2000-13, IOC-UPC.
- [23]. Corominas, A., Pastor, R., Rodríguez, E., (2005) Rotational allocation of tasks to multifunctional workers in a service industry. *International Journal Production Economics*. 1-7.
- [24]. Cox, J.R., (1989). Towards the measurement of manufacturing flexibility. *Production and Inventory Management Journal*, First Quarter. 68-72.

-
- [25]. Darmoni, S.J., Fajner, A., Mahé, N., Leforestier, A., Vondracek, M., Stelian, O., Baldenweck, M., (1995). HOROPLAN: computer-assisted nurse scheduling using constraint-based programming. *Journal of Society for Health Systems*. Vol.5 (1), 41-54.
- [26]. Díaz, J.A., Fernández, E., (2001). A tabu search heuristic for the generalized assignment problem. *European Journal of Operational Research*. Vol.132, 22-38.
- [27]. Ernst, A.T., Jiang, H., Krishnamoorthy, M., Sier, D., (2004). Staff scheduling and rostering: A review of applications, methods and models. *European Journal of Operational Research*. Vol.153, 3-27.
- [28]. Ferland, J.A., Berrada, I., Nabli, I., Ahiod, B., Michelon, P., Gascon, V., Gagné, E., (2001). Generalized assignment type goal programming problem: application of nurse scheduling. *Journal of Heuristics*. Vol.7, 291-413.
- [29]. Foegen, J.H., (1993). The case for employee versatility. *Business Economics Review*. Vol 39 (3), 30-31
- [30]. Gale, H.F., Wojan, T.R., Olmsted, J.C. (2002). Skill, flexible manufacturing technology and work organization. *Industrial Relations*. Vol 41, No.1, 48-77
- [31]. Gascon, V., Villaneuve S., Michelon P., Ferland, J.A., (2000). Scheduling the flying squad nurses of a hospital using a multi-objective programming model. *Annals of Operations Research*. Vol. 96, 149-166.
- [32]. Gomar, J.E., Haas Carl, T., Morton, D.P. (2002). Assignment and allocation optimization of partially multiskilled workforce. *Journal of Construction Engineering and Management*. Vol 128 No.2, 102-109.
- [33]. Grunow, m., Günther, H., O., (2004). Development of a decision support model for scheduling clinical studies and assigning medical personnel. *Health Care Management Science*. Vol.7, 305-317.
- [34]. Hare, D.R., (1998). Staff scheduling with ILOG solver. INFORMS (Institute for operations Research and Management Sciences) national meeting. Montreal 1998.

- [35]. Herbertson, I., (2005). The future of flexible staffing. www.flexibility.co.uk. Página web sobre el trabajo flexible. Consultada 01/04/2005
- [36]. Hottenstein, M.P., Bowman, S.A., (1998). Cross-training and worker flexibility: a review of DRC system research. The journal of High Technology Management Research. Vol. 9, No.2, 157-174.
- [37]. Järvi M., Uusitalo T., (2004). Job rotation in nursing a study of job rotation among nursing personnel from the literature and via a questionnaire. Journal of Nursing Management. Vol.12, 337-347.
- [38]. Johannessen, J.A., Olsen, B., Olaisen J., (1997). Organization for Innovation. Long Range Planning. Vol.30 No. 30, 96-109
- [39]. Lagodimos, A.G., Leopoulos, V., (2000). Greedy heuristic algorithms for manpower shift planning. International Journal of Production Economics. Vol.68, 95-106.
- [40]. Litchfield, J.A., Ingolfsson, A., Cheng, K.J., (2003). Rostering for a restaurant. INFOR Journal (Information Systems and Operacional Research). Vol. 41 No.3, 287-300.
- [41]. Llorente, G.F., (2003). Flexibilidad y nueva organización laboral de los proveedores directos de los fabricantes de automóviles en Cataluña. V Congreso de Ingeniería de Organización.
- [42]. Llorente, G.F., (2003). La nueva organización y flexibilidad laboral en los fabricantes de automóviles ubicados en España. V Congreso de Ingeniería de Organización.
- [43]. Loyo, S.J., (2003). Algoritmos genéticos y optimización en la Investigación de operaciones. Caso: Problema de optimización con objetivos múltiples expresado como un modelo de programación no lineal por metas. Working paper. Departamento de Computación, Facultad de Ciencias y Tecnología, Universidad de Carabobo.
- [44]. Lusa, A., (2003). Planificación del tiempo de trabajo con jornada anualizada. Tesis Doctoral UPC.
- [45]. Maw, J.A., Sleezer, C.M., (1995). Multiskilling: The quiet revolution in healthcare education and training. Journal of Health Occupations Education. Vol 10, No.1, 39-53.

-
- [46]. Martí, R., Lourenço, H., Laguna, M., (2000). Assigning protors to exams with scatter search. *Computing Tools for Modeling, Optimization and Simulation*. Cap. 12, 215-227. Kluwer Academic Publishers.
- [47]. Mason, A., Nielsen, D., (1999). PETRA. A programmable optimization engine and toolbox for personnel rostering applications. *European Journal of Operational Research*. Vol.104, 582-592.
- [48]. McCune, J.C., (1994). On the train gang. *Management Review*. Vol.83 (10), 57-60
- [49]. Millar, H.H., Kiragu, M., (1998). Cyclic and non-cyclic scheduling of 12h shift nurses by network programming. *European Journal of Operational Research*. Vol.104, 582-592.
- [50]. Molleman, E., Slomp J., (1999). Functional Flexible and team performance. *International Journal of Production Research*. Vol.36, No. 8, 1837-1858.
- [51]. Norman, B.A., (2004). A quantitative method for determining proper job rotation intervals. *Annals of Operations Research*. Vol.128, 251-266.
- [52]. Ojeda, R.J., (2004) Programación de horarios semanales de trabajadores polivalentes en un centro de servicios. Tesis Doctoral UPC.
- [53]. Park, K.S., (1996). Economic Growth and Multiskilled Workers in Manufacturing. *Journal of Labor Economics*. Vol. 14 No.2, 254 -285.
- [54]. Pinker, E.J., Larson R.C., (2003). Optimizing the use of contingent labor when demand is uncertain. *European Journal of Operational Research*. Vol.144, 39-55.
- [55]. Rodríguez, E. Coves, A., (2003). Estudio del estado del arte, sobre la asignación de tareas en jornada anualizada. Working paper. IOC-DT.P;2003-06. IOC-UPC.
- [56]. Romero, C., (1993). Teoría de la decisión multicriterio: Conceptos, técnicas y aplicaciones. Editorial Alianza.
- [57]. Romero, C., (1996). Análisis de las decisiones multicriterio. Editorial Isdefe.

- [58]. Romero, B.S., Pomerol, J., (1997). Decisiones Multicriterio. Fundamentos Teóricos y Utilización Práctica, Madrid: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Alcalá de Henares.
- [59]. Ruesga, S.M., Lasiera, J.M., Murayama, C., (2002). Economía del trabajo y política laboral. Editorial Pirámide.
- [60]. Sennott, L.I., Van,O.M, Iravani, S.M., (2006). Optimal Dynamic assignment of a flexible worker on an open production line with specialists. European Journal of Operational Research. Vol.170 (2), 541-566.
- [61]. Siferd, S.P., Benton, W.C. (1992).Workforce staffing and scheduling: Hospital nursing specific models. European Journal of Operational Research. Vol.60, 233-246.
- [62]. Sitompul, D., Randhawa, S.U., (1990). Nurse scheduling models: s state of the art review. Journal of the Society for Health Systems. Vol.2 (1), 62-72
- [63]. Slomp, J., Bokhorst, J.A., Molleman, E., (2005). Cross-training in a cellular manufacturing environment. Computer & Industrial Engineering. Vol.48, 609-624.
- [64]. Trivedi, V.M., Warner, M., (1976). A branch and bound algorithm for optimum allocation of float nurses. Management Science. Vol. 22 (9), 972-980.
- [65]. Thomson, C.A., (2006). Future Trends in Dietetics: The multiskilled professional. Nutrition. Vol.12, 293-294.
- [66]. Topaloglu, S., Ozkarahan, I., (2004). An implicit goal programming model for the tour scheduling problem considering the employee work preferences. Annals of Operations Research. Vol. 128, 135-158.
- [67]. Toroslu I.H., (2003). Personnel assignment problem with hierarchical ordering constraints. Computers & Industrial Engineering. Vol.45, 493-510.
- [68]. Volgenant A., (2004). A note on the assignment problem with seniority and job priority constraints. European Journal of Operational Research. Vol.154, 330-335.

- [69]. Warner, D.M., Prawda, J., (1972). A mathematical programming model for scheduling nursing personnel in a hospital. *Management Science*. Vol.19 (4) 411-422.
- [70]. Warner, M., Keller, B.J., Martel, S.H., (1990). Automated nurse scheduling. *Journal of the Society for Health Systems*. Vol. 2, No. 2, 66-80.
- [71]. Yáñez, S., (1999). Consideraciones sobre flexibilidad laboral planteadas desde una mirada de género. www.cem.cl. Página Web del centro de estudios sobre la mujer en Chile. Consultado 01/04/2005
- [72]. Zülch, P., Rottinger, S., Vollstedt, T., (2004). A simulation approach for planning and reassigning of personnel in manufacturing. *International Journal of Production Economics*. Vol.90, 265-277.

ANEXOS

A.I. TABLAS

	$C=2$	$C=3$	$C=4$
p	p_c	p_c	p_c
1	2	3	4
2	2	2	3
3	1	1	1
4	1	1	2
5	2	2	3
6	1	1	1
7	2	3	4
8	2	3	4
9	2	2	3
10	1	2	2
11	1	2	2
12	1	2	2
13	2	2	3
14	1	2	2
15	2	2	3
16	1	1	1
17	2	3	4
18	2	3	4
19	2	2	3
20	1	1	2
21	2	3	4
22	1	1	1
23	2	2	3
24	1	1	2
25	2	2	3

Tabla A.1. Categoría del personal con $P=25$ para los casos con $C= [2,3,4]$, del experimento I.

C=2				C=3				C=4			
p	p_c	p	p_c	p	p_c	p	p_c	p	p_c	p	p_c
1	2	26	2	1	3	26	2	1	4	26	3
2	2	27	1	2	2	27	1	2	3	27	2
3	1	28	2	3	1	28	3	3	1	28	4
4	1	29	1	4	1	29	2	4	2	29	2
5	2	30	2	5	2	30	3	5	3	30	4
6	1	31	2	6	1	31	2	6	1	31	3
7	2	32	2	7	3	32	2	7	4	32	3
8	2	33	2	8	3	33	3	8	4	33	4
9	2	34	1	9	2	34	1	9	3	34	1
10	1	35	2	10	2	35	3	10	2	35	4
11	1	36	2	11	2	36	3	11	2	36	4
12	1	37	1	12	2	37	2	12	2	37	2
13	2	38	2	13	2	38	2	13	3	38	3
14	1	39	2	14	2	39	2	14	2	39	3
15	2	40	1	15	2	40	1	15	3	40	1
16	1	41	2	16	1	41	3	16	1	41	4
17	2	42	2	17	3	42	3	17	4	42	4
18	2	43	2	18	3	43	2	18	4	43	3
19	2	44	2	19	2	44	2	19	3	44	3
20	1	45	2	20	1	45	3	20	2	45	4
21	2	46	2	21	3	46	3	21	4	46	4
22	1	47	2	22	1	47	2	22	1	47	3
23	2	48	1	23	2	48	1	23	3	48	2
24	1	49	1	24	1	49	1	24	2	49	1
25	2	50	1	25	2	50	1	25	3	50	2

Tabla A.2. Categoría del personal con P= 50 para los casos con C= [2,3,4], del experimento I.

C=2								C=3								C=4							
p	p _c	p	p _c	p	p _c	p	p _c	p	p _c	p	p _c	p	p _c	p	p _c	p	p _c	p	p _c	p	p _c	p	p _c
1	2	26	2	51	1	76	1	1	3	26	2	51	2	76	1	1	4	26	3	51	2	76	1
2	2	27	1	52	2	77	1	2	2	27	1	52	3	77	1	2	3	27	2	52	4	77	2
3	1	28	2	53	2	78	1	3	1	28	3	53	3	78	1	3	1	28	4	53	4	78	1
4	1	29	1	54	1	79	2	4	1	29	2	54	2	79	2	4	2	29	2	54	2	79	3
5	2	30	2	55	2	80	1	5	2	30	3	55	2	80	2	5	3	30	4	55	3	80	2
6	1	31	2	56	2	81	2	6	1	31	2	56	3	81	2	6	1	31	3	56	4	81	3
7	2	32	2	57	1	82	1	7	3	32	2	57	1	82	1	7	4	32	3	57	1	82	2
8	2	33	2	58	2	83	1	8	3	33	3	58	2	83	2	8	4	33	4	58	3	83	2
9	2	34	1	59	1	84	2	9	2	34	1	59	1	84	3	9	3	34	1	59	1	84	4
10	1	35	2	60	2	85	2	10	2	35	3	60	3	85	2	10	2	35	4	60	4	85	3
11	1	36	2	61	2	86	2	11	2	36	3	61	3	86	3	11	2	36	4	61	4	86	4
12	1	37	1	62	1	87	2	12	2	37	2	62	1	87	3	12	2	37	2	62	1	87	4
13	2	38	2	63	2	88	1	13	2	38	2	63	2	88	1	13	3	38	3	63	3	88	1
14	1	39	2	64	2	89	2	14	2	39	2	64	2	89	3	14	2	39	3	64	3	89	4
15	2	40	1	65	2	90	2	15	2	40	1	65	3	90	2	15	3	40	1	65	4	90	3
16	1	41	2	66	2	91	2	16	1	41	3	66	2	91	2	16	1	41	4	66	3	91	3
17	2	42	2	67	2	92	2	17	3	42	3	67	3	92	2	17	4	42	4	67	4	92	3
18	2	43	2	68	2	93	1	18	3	43	2	68	3	93	1	18	4	43	3	68	4	93	1
19	2	44	2	69	1	94	2	19	2	44	2	69	1	94	3	19	3	44	3	69	2	94	4
20	1	45	2	70	1	95	1	20	1	45	3	70	1	95	1	20	2	45	4	70	2	95	1
21	2	46	2	71	2	96	1	21	3	46	3	71	3	96	1	21	4	46	4	71	4	96	1
22	1	47	2	72	2	97	1	22	1	47	2	72	3	97	1	22	1	47	3	72	4	97	1
23	2	48	1	73	1	98	1	23	2	48	1	73	2	98	1	23	3	48	2	73	2	98	2
24	1	49	1	74	2	99	1	24	1	49	1	74	3	99	1	24	2	49	1	74	4	99	2
25	2	50	1	75	2	100	2	25	2	50	1	75	3	100	3	25	3	50	2	75	4	100	4

Tabla A.3. Categoría del personal con P= 100 para los casos con C= [2,3,4], del experimento I.

C=2								C=3								C=4							
p	p _c	p	p _c	p	p _c	p	p _c	p	p _c	p	p _c	p	p _c	p	p _c	p	p _c	p	p _c	p	p _c	p	p _c
1	2	39	2	77	1	115	1	1	3	39	2	77	1	115	1	1	4	39	3	77	2	115	1
2	2	40	1	78	1	116	2	2	2	40	1	78	1	116	3	2	3	40	1	78	1	116	4
3	1	41	2	79	2	117	2	3	1	41	3	79	2	117	2	3	1	41	4	79	3	117	3
4	1	42	2	80	1	118	2	4	1	42	3	80	2	118	3	4	2	42	4	80	2	118	4
5	2	43	2	81	2	119	1	5	2	43	2	81	2	119	1	5	3	43	3	81	3	119	2
6	1	44	2	82	1	120	1	6	1	44	2	82	1	120	2	6	1	44	3	82	2	120	2
7	2	45	2	83	1	121	2	7	3	45	3	83	2	121	3	7	4	45	4	83	2	121	4
8	2	46	2	84	2	122	1	8	3	46	3	84	3	122	1	8	4	46	4	84	4	122	1
9	2	47	2	85	2	123	2	9	2	47	2	85	2	123	3	9	3	47	3	85	3	123	4
10	1	48	1	86	2	124	2	10	2	48	1	86	3	124	2	10	2	48	2	86	4	124	3
11	1	49	1	87	2	125	2	11	2	49	1	87	3	125	2	11	2	49	1	87	4	125	3
12	1	50	1	88	1	126	2	12	2	50	1	88	1	126	2	12	2	50	2	88	1	126	3
13	2	51	1	89	2	127	1	13	2	51	2	89	3	127	1	13	3	51	2	89	4	127	1
14	1	52	2	90	2	128	2	14	2	52	3	90	2	128	3	14	2	52	4	90	3	128	4
15	2	53	2	91	2	129	2	15	2	53	3	91	2	129	3	15	3	53	4	91	3	129	4
16	1	54	1	92	2	130	2	16	1	54	2	92	2	130	3	16	1	54	2	92	3	130	4
17	2	55	2	93	1	131	1	17	3	55	2	93	1	131	1	17	4	55	3	93	1	131	1
18	2	56	2	94	2	132	2	18	3	56	3	94	3	132	3	18	4	56	4	94	4	132	4
19	2	57	1	95	1	133	2	19	2	57	1	95	1	133	2	19	3	57	1	95	1	133	3
20	1	58	2	96	1	134	2	20	1	58	2	96	1	134	3	20	2	58	3	96	1	134	4
21	2	59	1	97	1	135	1	21	3	59	1	97	1	135	1	21	4	59	1	97	1	135	2
22	1	60	2	98	1	136	1	22	1	60	3	98	1	136	1	22	1	60	4	98	2	136	2
23	2	61	2	99	1	137	2	23	2	61	3	99	1	137	3	23	3	61	4	99	2	137	4
24	1	62	1	100	2	138	1	24	1	62	1	100	3	138	1	24	2	62	1	100	4	138	1
25	2	63	2	101	1	139	2	25	2	63	2	101	1	139	2	25	3	63	3	101	1	139	3
26	2	64	2	102	1	140	2	26	2	64	2	102	2	140	2	26	3	64	3	102	2	140	3
27	1	65	2	103	2	141	2	27	1	65	3	103	3	141	3	27	2	65	4	103	4	141	4
28	2	66	2	104	2	142	2	28	3	66	2	104	2	142	3	28	4	66	3	104	3	142	4
29	1	67	2	105	2	143	1	29	2	67	3	105	3	143	2	29	2	67	4	105	4	143	2
30	2	68	2	106	1	144	2	30	3	68	3	106	1	144	2	30	4	68	4	106	1	144	3
31	2	69	1	107	1	145	2	31	2	69	1	107	1	145	3	31	3	69	2	107	1	145	4
32	2	70	1	108	2	146	1	32	2	70	1	108	2	146	2	32	3	70	2	108	3	146	2
33	2	71	2	109	1	147	2	33	3	71	3	109	1	147	3	33	4	71	4	109	1	147	4
34	1	72	2	110	1	148	1	34	1	72	3	110	1	148	2	34	1	72	4	110	1	148	2
35	2	73	1	111	2	149	2	35	3	73	2	111	2	149	2	35	4	73	2	111	3	149	3
36	2	74	2	112	2	150	1	36	3	74	3	112	2	150	1	36	4	74	4	112	3	150	1
37	1	75	2	113	2			37	2	75	3	113	2			37	2	75	4	113	3		
38	2	76	1	114	2			38	2	76	1	114	2			38	3	76	1	114	3		

Tabla A.4. Categoría del personal con P= 150 para los casos con C= [2,3,4], del experimento I.

<i>h</i>	Tareas		<i>h</i>	Tareas	
	Tipo 1	Tipo 2		Tipo 1	Tipo 2
1	1,00	0,00	46	1,00	0,00
2	2,00	1,00	47	2,00	1,00
3	2,00	1,00	48	2,00	1,00
4	2,00	1,00	49	2,00	1,00
5	2,00	1,00	50	2,00	1,00
6	2,00	1,00	51	2,00	1,00
7	2,00	2,00	52	2,00	2,00
8	2,00	2,00	53	2,00	2,00
9	2,00	2,00	54	2,00	2,00
10	2,00	2,00	55	2,00	2,00
11	2,00	2,00	56	2,00	2,00
12	3,00	2,00	57	3,00	2,00
13	3,00	2,00	58	3,00	2,00
14	3,00	2,00	59	3,00	2,00
15	3,00	2,00	60	3,00	2,00
16	1,00	0,00	61	1,00	0,00
17	2,00	1,00	62	2,00	1,00
18	2,00	1,00	63	2,00	1,00
19	2,00	1,00	64	2,00	1,00
20	2,00	1,00	65	2,00	1,00
21	2,00	1,00	66	2,00	1,00
22	2,00	2,00	67	2,00	2,00
23	2,00	2,00	68	2,00	2,00
24	2,00	2,00	69	2,00	2,00
25	2,00	2,00	70	2,00	2,00
26	2,00	2,00	71	2,00	2,00
27	3,00	2,00	72	3,00	2,00
28	3,00	2,00	73	3,00	2,00
29	3,00	2,00	74	3,00	2,00
30	3,00	2,00	75	3,00	2,00
31	1,00	0,00	76	1,00	0,00
32	2,00	1,00	77	2,00	1,00
33	2,00	1,00	78	2,00	1,00
34	2,00	1,00	79	2,00	1,00
35	2,00	1,00	80	2,00	1,00
36	2,00	1,00	81	2,00	1,00
37	2,00	2,00	82	2,00	2,00
38	2,00	2,00	83	2,00	2,00
39	2,00	2,00	84	2,00	2,00
40	2,00	2,00	85	2,00	2,00
41	2,00	2,00	86	2,00	2,00
42	3,00	2,00	87	3,00	2,00
43	3,00	2,00	88	3,00	2,00
44	3,00	2,00	89	3,00	2,00
45	3,00	2,00	90	3,00	2,00

Tabla A.5. Demanda de capacidad mínima para P=25 y T=2. Experimento I.

<i>h</i>	Tareas		<i>h</i>	Tareas	
	<i>Tipo 1</i>	<i>Tipo 2</i>		<i>Tipo 1</i>	<i>Tipo 2</i>
1	1,00	0,65	46	1,00	0,65
2	2,00	2,64	47	2,00	3,12
3	2,00	3,07	48	2,00	3,36
4	2,01	4,69	49	2,27	5,29
5	2,15	5,01	50	2,35	5,49
6	2,19	5,11	51	2,28	5,31
7	2,30	5,37	52	2,44	5,69
8	2,28	5,31	53	2,26	5,27
9	2,10	4,90	54	2,17	5,05
10	2,17	5,06	55	2,27	5,29
11	2,56	5,97	56	2,37	5,52
12	3,00	6,18	57	3,00	6,10
13	3,00	6,01	58	3,00	6,19
14	3,00	6,01	59	3,00	6,19
15	3,00	6,01	60	3,00	6,19
16	1,00	0,65	61	1,00	0,65
17	2,00	3,33	62	2,00	3,30
18	2,00	3,76	63	2,00	3,68
19	2,36	5,51	64	2,31	5,38
20	2,45	5,72	65	2,46	5,73
21	2,39	5,57	66	2,34	5,46
22	2,33	5,44	67	2,55	5,95
23	2,37	5,53	68	2,44	5,68
24	2,21	5,15	69	2,25	5,25
25	2,25	5,26	70	2,50	5,83
26	2,46	5,73	71	2,67	6,22
27	3,00	5,89	72	3,00	6,65
28	3,00	6,04	73	3,00	6,87
29	3,00	6,04	74	3,00	6,87
30	3,00	6,04	75	3,00	6,87
31	1,00	0,65	76	1,00	0,65
32	2,00	3,70	77	2,00	3,75
33	2,00	3,80	78	2,00	4,17
34	2,33	5,43	79	2,76	6,44
35	2,37	5,53	80	2,88	6,71
36	2,28	5,33	81	2,98	6,96
37	2,35	5,48	82	2,97	6,93
38	2,29	5,34	83	2,86	6,67
39	2,14	5,00	84	2,67	6,23
40	2,31	5,40	85	3,07	7,16
41	2,43	5,66	86	3,16	7,37
42	3,00	5,83	87	3,00	7,97
43	3,00	6,00	88	3,00	7,96
44	3,00	6,00	89	3,00	7,95
45	3,00	6,00	90	3,00	7,95

Tabla A.6. Demanda de capacidad ideal para P=25 y T=2. Experimento I.

<i>h</i>	Tareas		<i>h</i>	Tareas	
	Tipo 1	Tipo 2		Tipo 1	Tipo 2
1	1,00	1,00	46	1,00	1,00
2	3,00	2,00	47	3,00	2,00
3	3,00	2,00	48	3,00	2,00
4	4,00	2,00	49	4,00	2,00
5	4,00	2,00	50	4,00	2,00
6	4,00	2,00	51	4,00	2,00
7	5,00	3,00	52	5,00	3,00
8	5,00	3,00	53	5,00	3,00
9	4,00	3,00	54	5,00	3,00
10	4,00	3,00	55	5,00	3,00
11	5,00	3,00	56	5,00	3,00
12	6,00	5,00	57	6,00	5,00
13	6,00	5,00	58	6,00	5,00
14	6,00	5,00	59	6,00	5,00
15	6,00	5,00	60	6,00	5,00
16	1,00	1,00	61	1,00	1,00
17	3,00	2,00	62	3,00	2,00
18	3,00	2,00	63	3,00	2,00
19	4,00	2,00	64	4,00	2,00
20	4,00	2,00	65	4,00	2,00
21	4,00	2,00	66	4,00	2,00
22	5,00	3,00	67	5,00	3,00
23	5,00	3,00	68	5,00	3,00
24	5,00	3,00	69	5,00	3,00
25	5,00	3,00	70	5,00	3,00
26	5,00	3,00	71	5,00	3,00
27	6,00	5,00	72	6,00	5,00
28	6,00	5,00	73	6,00	5,00
29	6,00	5,00	74	6,00	5,00
30	6,00	5,00	75	6,00	5,00
31	1,00	1,00	76	1,00	1,00
32	3,00	2,00	77	3,00	2,00
33	3,00	2,00	78	4,00	2,00
34	4,00	2,00	79	4,00	2,00
35	4,00	2,00	80	4,00	2,00
36	4,00	2,00	81	4,00	2,00
37	5,00	3,00	82	5,00	3,00
38	5,00	3,00	83	5,00	3,00
39	5,00	3,00	84	5,00	3,00
40	5,00	3,00	85	5,00	3,00
41	5,00	3,00	86	5,00	3,00
42	6,00	5,00	87	7,00	5,00
43	6,00	5,00	88	7,00	5,00
44	6,00	5,00	89	7,00	5,00
45	6,00	5,00	90	7,00	5,00

Tabla A.7. Demanda de capacidad mínima para P=50 y T=2. Experimento I.

<i>h</i>	Tareas		<i>h</i>	Tareas	
	Tipo 1	Tipo 2		Tipo 1	Tipo 2
1	1,00	1,29	46	1,00	1,29
2	3,00	5,23	47	3,00	6,18
3	3,00	6,08	48	3,00	6,67
4	4,00	9,29	49	4,49	10,48
5	4,26	9,93	50	4,67	10,89
6	4,34	10,14	51	4,51	10,53
7	5,00	10,65	52	5,00	11,28
8	5,00	10,52	53	5,00	10,45
9	4,16	9,70	54	5,00	10,02
10	4,30	10,02	55	5,00	10,48
11	5,07	11,83	56	5,00	10,95
12	6,00	12,24	57	6,00	12,09
13	6,00	11,91	58	6,00	12,27
14	6,00	11,91	59	6,00	12,27
15	6,00	11,91	60	6,00	12,27
16	1,00	1,29	61	1,00	1,29
17	3,00	6,61	62	3,00	6,53
18	3,00	7,45	63	3,00	7,30
19	4,00	10,91	64	4,57	10,66
20	4,86	11,34	65	4,87	11,36
21	4,73	11,04	66	4,64	10,82
22	5,00	10,78	67	5,05	11,79
23	5,00	10,96	68	5,00	11,26
24	5,00	10,20	69	5,00	10,40
25	5,00	10,42	70	5,00	11,55
26	5,00	11,36	71	5,28	12,33
27	6,00	11,67	72	6,00	13,18
28	6,00	11,98	73	6,00	13,61
29	6,00	11,98	74	6,00	13,61
30	6,00	11,98	75	6,00	13,61
31	1,00	1,29	76	1,00	1,29
32	3,14	7,33	77	3,00	7,44
33	3,00	7,54	78	4,00	8,27
34	4,61	10,76	79	5,47	12,77
35	4,70	10,96	80	5,70	13,30
36	4,53	10,56	81	5,91	13,80
37	5,00	10,86	82	5,89	13,75
38	5,00	10,59	83	5,67	13,22
39	5,00	9,92	84	5,29	12,34
40	5,00	10,70	85	6,08	14,19
41	5,00	11,22	86	6,26	14,62
42	6,00	11,56	87	7,00	15,80
43	6,00	11,89	88	7,00	15,78
44	6,00	11,89	89	7,00	15,76
45	6,00	11,89	90	7,00	15,76

Tabla A.8. Demanda de capacidad ideal para P=50 y T=2. Experimento I.

<i>h</i>	Tareas		<i>h</i>	Tareas	
	Tipo 1	Tipo 2		Tipo 1	Tipo 2
1	2,00	2,00	46	2,00	2,00
2	5,00	5,00	47	6,00	5,00
3	5,00	5,00	48	7,00	5,00
4	7,00	5,00	49	7,00	5,00
5	7,00	5,00	50	7,00	5,00
6	7,00	5,00	51	7,00	5,00
7	9,00	6,00	52	10,00	6,00
8	9,00	6,00	53	9,00	6,00
9	9,00	6,00	54	9,00	6,00
10	9,00	6,00	55	9,00	6,00
11	10,00	6,00	56	10,00	6,00
12	13,00	10,00	57	13,00	10,00
13	13,00	10,00	58	13,00	10,00
14	13,00	10,00	59	13,00	10,00
15	13,00	10,00	60	13,00	10,00
16	2,00	2,00	61	2,00	2,00
17	5,00	5,00	62	6,00	5,00
18	7,00	5,00	63	7,00	5,00
19	7,00	5,00	64	7,00	5,00
20	7,00	5,00	65	7,00	5,00
21	7,00	5,00	66	7,00	5,00
22	10,00	6,00	67	10,00	6,00
23	10,00	6,00	68	10,00	6,00
24	9,00	6,00	69	10,00	6,00
25	9,00	6,00	70	10,00	6,00
26	10,00	6,00	71	10,00	6,00
27	13,00	10,00	72	13,00	10,00
28	13,00	10,00	73	13,00	10,00
29	13,00	10,00	74	13,00	10,00
30	13,00	10,00	75	13,00	10,00
31	2,00	2,00	76	2,00	2,00
32	6,00	5,00	77	6,00	5,00
33	7,00	5,00	78	7,00	5,00
34	7,00	5,00	79	7,00	5,00
35	7,00	5,00	80	7,00	5,00
36	7,00	5,00	81	7,00	5,00
37	10,00	6,00	82	10,00	6,00
38	10,00	6,00	83	10,00	6,00
39	9,00	6,00	84	10,00	6,00
40	10,00	6,00	85	10,00	6,00
41	10,00	6,00	86	10,00	6,00
42	13,00	10,00	87	14,00	10,00
43	13,00	10,00	88	14,00	10,00
44	13,00	10,00	89	14,00	10,00
45	13,00	10,00	90	14,00	10,00

Tabla A.9. Demanda de capacidad mínima para P=100 y T=2. Experimento I.

<i>h</i>	Tareas		<i>h</i>	Tareas	
	Tipo 1	Tipo 2		Tipo 1	Tipo 2
1	2,00	2,58	46	2,00	2,58
2	5,00	10,46	47	6,00	12,37
3	5,21	12,16	48	7,00	13,34
4	7,96	18,58	49	8,98	20,95
5	8,51	19,86	50	9,33	21,77
6	8,69	20,28	51	9,02	21,05
7	9,13	21,30	52	10,00	22,55
8	9,02	21,05	53	9,00	20,91
9	9,00	19,41	54	9,00	20,03
10	9,00	20,05	55	9,00	20,95
11	10,14	23,66	56	10,00	21,90
12	13,00	24,49	57	13,00	24,18
13	13,00	23,82	58	13,00	24,54
14	13,00	23,82	59	13,00	24,54
15	13,00	23,82	60	13,00	24,54
16	2,00	2,58	61	2,00	2,58
17	5,00	13,22	62	6,00	13,07
18	7,00	14,90	63	7,00	14,60
19	9,35	21,83	64	9,14	21,33
20	9,72	22,67	65	9,73	22,71
21	9,47	22,09	66	9,28	21,65
22	10,00	21,55	67	10,11	23,58
23	10,00	21,91	68	10,00	22,53
24	9,00	20,40	69	10,00	20,79
25	9,00	20,84	70	10,00	23,10
26	10,00	22,72	71	10,57	24,66
27	13,00	23,35	72	13,00	26,36
28	13,00	23,96	73	13,00	27,22
29	13,00	23,96	74	13,00	27,22
30	13,00	23,96	75	13,00	27,22
31	2,00	2,58	76	2,00	2,58
32	6,00	14,65	77	6,37	14,87
33	7,00	15,08	78	7,08	16,53
34	9,22	21,52	79	10,95	25,55
35	9,39	21,92	80	11,40	26,60
36	9,05	21,13	81	11,83	27,60
37	10,00	21,72	82	11,78	27,49
38	10,00	21,19	83	11,33	26,45
39	9,00	19,83	84	10,58	24,69
40	10,00	21,39	85	12,16	28,38
41	10,00	22,44	86	12,53	29,23
42	13,00	23,11	87	14,00	31,59
43	13,00	23,78	88	14,00	31,55
44	13,00	23,78	89	14,00	31,52
45	13,00	23,78	90	14,00	31,52

Tabla A.10. Demanda de capacidad ideal para P=100 y T=2. Experimento I.

<i>h</i>	Tareas		<i>h</i>	Tareas	
	Tipo 1	Tipo 2		Tipo 1	Tipo 2
1	3,00	2,00	46	3,00	2,00
2	8,00	7,00	47	8,00	7,00
3	8,00	7,00	48	9,00	7,00
4	11,00	7,00	49	11,00	7,00
5	11,00	7,00	50	11,00	7,00
6	11,00	7,00	51	11,00	7,00
7	14,00	10,00	52	14,00	10,00
8	14,00	10,00	53	14,00	10,00
9	13,00	10,00	54	13,00	10,00
10	13,00	10,00	55	14,00	10,00
11	14,00	10,00	56	14,00	10,00
12	17,00	14,00	57	17,00	14,00
13	17,00	14,00	58	17,00	14,00
14	17,00	14,00	59	17,00	14,00
15	17,00	14,00	60	17,00	14,00
16	3,00	2,00	61	3,00	2,00
17	8,00	7,00	62	9,00	7,00
18	9,00	7,00	63	10,00	7,00
19	11,00	7,00	64	11,00	7,00
20	11,00	7,00	65	11,00	7,00
21	11,00	7,00	66	11,00	7,00
22	14,00	10,00	67	14,00	10,00
23	14,00	10,00	68	14,00	10,00
24	14,00	10,00	69	14,00	10,00
25	14,00	10,00	70	14,00	10,00
26	14,00	10,00	71	14,00	10,00
27	17,00	14,00	72	17,00	14,00
28	17,00	14,00	73	19,00	14,00
29	17,00	14,00	74	19,00	14,00
30	17,00	14,00	75	19,00	14,00
31	3,00	2,00	76	3,00	2,00
32	9,00	7,00	77	10,00	7,00
33	9,00	7,00	78	11,00	7,00
34	11,00	7,00	79	11,00	7,00
35	11,00	7,00	80	11,00	7,00
36	11,00	7,00	81	11,00	7,00
37	14,00	10,00	82	14,00	10,00
38	14,00	10,00	83	14,00	10,00
39	13,00	10,00	84	14,00	10,00
40	14,00	10,00	85	14,00	10,00
41	14,00	10,00	86	14,00	10,00
42	17,00	14,00	87	22,00	14,00
43	17,00	14,00	88	22,00	14,00
44	17,00	14,00	89	22,00	14,00
45	17,00	14,00	90	21,00	14,00

Tabla A.11. Demanda de capacidad mínima para P=150 y T=2. Experimento I.

<i>h</i>	Tareas		<i>h</i>	Tareas	
	Tipo 1	Tipo 2		Tipo 1	Tipo 2
1	3,00	3,87	46	3,00	3,87
2	8,00	15,69	47	8,00	18,55
3	8,00	18,24	48	9,00	20,01
4	11,94	27,87	49	13,47	31,43
5	12,77	29,80	50	14,00	32,66
6	13,03	30,41	51	13,54	31,58
7	14,00	31,94	52	14,50	33,83
8	14,00	31,57	53	14,00	31,36
9	13,00	29,11	54	13,00	30,05
10	13,00	30,07	55	14,00	31,43
11	15,21	35,49	56	14,08	32,85
12	17,00	36,73	57	17,00	36,27
13	17,00	35,73	58	17,00	36,81
14	17,00	35,73	59	17,00	36,81
15	17,00	35,73	60	17,00	36,81
16	3,00	3,87	61	3,00	3,87
17	8,50	19,82	62	9,00	19,60
18	9,58	22,35	63	10,00	21,91
19	14,03	32,74	64	13,71	31,99
20	14,58	34,01	65	14,60	34,07
21	14,20	33,13	66	13,92	32,47
22	14,00	32,33	67	15,16	35,38
23	14,09	32,87	68	14,48	33,79
24	14,00	30,61	69	14,00	31,19
25	14,00	31,25	70	14,85	34,64
26	14,60	34,08	71	15,85	36,98
27	17,00	35,02	72	17,00	39,55
28	17,00	35,94	73	19,00	40,82
29	17,00	35,94	74	19,00	40,82
30	17,00	35,94	75	19,00	40,82
31	3,00	3,87	76	3,00	3,87
32	9,42	21,98	77	10,00	22,31
33	9,69	22,62	78	11,00	24,80
34	13,83	32,27	79	16,42	38,32
35	14,09	32,88	80	17,10	39,89
36	13,58	31,69	81	17,74	41,40
37	14,00	32,59	82	17,67	41,24
38	14,00	31,78	83	17,00	39,67
39	13,00	29,75	84	15,87	37,03
40	14,00	32,09	85	18,25	42,58
41	14,43	33,66	86	18,79	43,85
42	17,00	34,67	87	22,00	47,39
43	17,00	35,67	88	22,00	47,33
44	17,00	35,67	89	22,00	47,29
45	17,00	35,67	90	21,00	47,29

Tabla A.12. Demanda de capacidad ideal para P=150 y T=2. Experimento I.

<i>h</i>	Tareas			<i>h</i>	Tareas		
	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3		Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
1	1,00	0,00	0,00	46	1,00	0,00	0,00
2	2,00	1,00	0,00	47	2,00	1,00	0,00
3	2,00	1,00	0,00	48	2,00	1,00	0,00
4	2,00	1,00	0,00	49	2,00	1,00	0,00
5	2,00	1,00	0,00	50	2,00	1,00	0,00
6	2,00	1,00	0,00	51	2,00	1,00	0,00
7	2,00	2,00	0,00	52	2,00	2,00	0,00
8	2,00	2,00	0,00	53	2,00	2,00	0,00
9	2,00	2,00	0,00	54	2,00	2,00	0,00
10	2,00	2,00	0,00	55	2,00	2,00	0,00
11	2,00	2,00	0,00	56	2,00	2,00	0,00
12	3,00	2,00	1,00	57	3,00	2,00	1,00
13	3,00	2,00	1,00	58	3,00	2,00	1,00
14	3,00	2,00	1,00	59	3,00	2,00	1,00
15	3,00	2,00	1,00	60	3,00	2,00	1,00
16	1,00	0,00	0,00	61	1,00	0,00	0,00
17	2,00	1,00	0,00	62	2,00	1,00	0,00
18	2,00	1,00	0,00	63	2,00	1,00	0,00
19	2,00	1,00	0,00	64	2,00	1,00	0,00
20	2,00	1,00	0,00	65	2,00	1,00	0,00
21	2,00	1,00	0,00	66	2,00	1,00	0,00
22	2,00	2,00	0,00	67	2,00	2,00	0,00
23	2,00	2,00	0,00	68	2,00	2,00	0,00
24	2,00	2,00	0,00	69	2,00	2,00	0,00
25	2,00	2,00	0,00	70	2,00	2,00	0,00
26	2,00	2,00	0,00	71	2,00	2,00	0,00
27	3,00	2,00	1,00	72	3,00	2,00	1,00
28	3,00	2,00	1,00	73	3,00	2,00	1,00
29	3,00	2,00	1,00	74	3,00	2,00	1,00
30	3,00	2,00	1,00	75	3,00	2,00	1,00
31	1,00	0,00	0,00	76	1,00	0,00	0,00
32	2,00	1,00	0,00	77	2,00	1,00	0,00
33	2,00	1,00	0,00	78	2,00	1,00	0,00
34	2,00	1,00	0,00	79	2,00	1,00	0,00
35	2,00	1,00	0,00	80	2,00	1,00	0,00
36	2,00	1,00	0,00	81	2,00	1,00	0,00
37	2,00	2,00	0,00	82	2,00	2,00	0,00
38	2,00	2,00	0,00	83	2,00	2,00	0,00
39	2,00	2,00	0,00	84	2,00	2,00	0,00
40	2,00	2,00	0,00	85	2,00	2,00	0,00
41	2,00	2,00	0,00	86	2,00	2,00	0,00
42	3,00	2,00	1,00	87	3,00	2,00	1,00
43	3,00	2,00	1,00	88	3,00	2,00	1,00
44	3,00	2,00	1,00	89	3,00	2,00	1,00
45	3,00	2,00	1,00	90	3,00	2,00	1,00

Tabla A.13. Demanda de capacidad mínima para P=25 y T=3. Experimento I.

<i>h</i>	Tareas			<i>h</i>	Tareas		
	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3		Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
1	1,00	0,42	0,23	46	1,00	0,42	0,23
2	2,00	1,70	0,94	47	2,00	2,01	1,11
3	2,00	1,97	1,10	48	2,00	2,16	1,20
4	2,01	3,01	1,67	49	2,27	3,40	1,89
5	2,15	3,22	1,79	50	2,35	3,53	1,96
6	2,19	3,29	1,83	51	2,28	3,41	1,90
7	2,30	3,45	1,92	52	2,44	3,66	2,03
8	2,28	3,41	1,90	53	2,26	3,39	1,88
9	2,10	3,15	1,75	54	2,17	3,25	1,80
10	2,17	3,25	1,81	55	2,27	3,40	1,89
11	2,56	3,84	2,13	56	2,37	3,55	1,97
12	3,00	3,97	2,21	57	3,00	3,92	2,18
13	3,00	3,86	2,15	58	3,00	3,98	2,21
14	3,00	3,86	2,15	59	3,00	3,98	2,21
15	3,00	3,86	2,15	60	3,00	3,98	2,21
16	1,00	0,42	0,23	61	1,00	0,42	0,23
17	2,00	2,14	1,19	62	2,00	2,12	1,18
18	2,00	2,42	1,34	63	2,00	2,37	1,32
19	2,36	3,54	1,97	64	2,31	3,46	1,92
20	2,45	3,68	2,04	65	2,46	3,68	2,05
21	2,39	3,58	1,99	66	2,34	3,51	1,95
22	2,33	3,49	1,94	67	2,55	3,82	2,12
23	2,37	3,55	1,97	68	2,44	3,65	2,03
24	2,21	3,31	1,84	69	2,25	3,37	1,87
25	2,25	3,38	1,88	70	2,50	3,74	2,08
26	2,46	3,68	2,05	71	2,67	4,00	2,22
27	3,00	3,79	2,10	72	3,00	4,28	2,38
28	3,00	3,88	2,16	73	3,00	4,41	2,45
29	3,00	3,88	2,16	74	3,00	4,41	2,45
30	3,00	3,88	2,16	75	3,00	4,41	2,45
31	1,00	0,42	0,23	76	1,00	0,42	0,23
32	2,00	2,38	1,32	77	2,00	2,41	1,34
33	2,00	2,44	1,36	78	2,00	2,68	1,49
34	2,33	3,49	1,94	79	2,76	4,14	2,30
35	2,37	3,55	1,97	80	2,88	4,31	2,40
36	2,28	3,43	1,90	81	2,98	4,48	2,49
37	2,35	3,52	1,96	82	2,97	4,46	2,48
38	2,29	3,44	1,91	83	2,86	4,29	2,38
39	2,14	3,22	1,79	84	2,67	4,00	2,22
40	2,31	3,47	1,93	85	3,07	4,60	2,56
41	2,43	3,64	2,02	86	3,16	4,74	2,63
42	3,00	3,75	2,08	87	3,42	5,12	2,85
43	3,00	3,86	2,14	88	3,41	5,12	2,84
44	3,00	3,86	2,14	89	3,41	5,11	2,84
45	3,00	3,86	2,14	90	3,41	5,11	2,84

Tabla A.14. Demanda de capacidad deseada para P=25 y T=3. Experimento I.

<i>h</i>	Tareas			<i>h</i>	Tareas		
	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3		Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
1	1,00	1,00	0,00	46	1,00	1,00	0,00
2	3,00	2,00	1,00	47	3,00	2,00	1,00
3	3,00	2,00	1,00	48	3,00	2,00	1,00
4	3,00	2,00	1,00	49	3,00	2,00	1,00
5	3,00	2,00	1,00	50	3,00	2,00	1,00
6	3,00	2,00	1,00	51	3,00	2,00	1,00
7	4,00	3,00	1,00	52	4,00	3,00	1,00
8	4,00	3,00	1,00	53	4,00	3,00	1,00
9	4,00	3,00	1,00	54	4,00	3,00	1,00
10	4,00	3,00	1,00	55	4,00	3,00	1,00
11	4,00	3,00	1,00	56	4,00	3,00	1,00
12	5,00	5,00	1,00	57	5,00	5,00	1,00
13	5,00	5,00	1,00	58	5,00	5,00	1,00
14	5,00	5,00	1,00	59	5,00	5,00	1,00
15	5,00	5,00	1,00	60	5,00	5,00	1,00
16	1,00	1,00	0,00	61	1,00	1,00	0,00
17	3,00	2,00	1,00	62	3,00	2,00	1,00
18	3,00	2,00	1,00	63	3,00	2,00	1,00
19	3,00	2,00	1,00	64	3,00	2,00	1,00
20	3,00	2,00	1,00	65	3,00	2,00	1,00
21	3,00	2,00	1,00	66	3,00	2,00	1,00
22	4,00	3,00	1,00	67	4,00	3,00	1,00
23	4,00	3,00	1,00	68	4,00	3,00	1,00
24	4,00	3,00	1,00	69	4,00	3,00	1,00
25	4,00	3,00	1,00	70	4,00	3,00	1,00
26	4,00	3,00	1,00	71	4,00	3,00	1,00
27	5,00	5,00	1,00	72	6,00	5,00	1,00
28	5,00	5,00	1,00	73	6,00	5,00	1,00
29	5,00	5,00	1,00	74	6,00	5,00	1,00
30	5,00	5,00	1,00	75	6,00	5,00	1,00
31	1,00	1,00	0,00	76	1,00	1,00	0,00
32	3,00	2,00	1,00	77	3,00	2,00	1,00
33	3,00	2,00	1,00	78	3,00	2,00	1,00
34	3,00	2,00	1,00	79	3,00	2,00	1,00
35	3,00	2,00	1,00	80	3,00	2,00	1,00
36	3,00	2,00	1,00	81	3,00	2,00	1,00
37	4,00	3,00	1,00	82	4,00	3,00	1,00
38	4,00	3,00	1,00	83	4,00	3,00	1,00
39	4,00	3,00	1,00	84	4,00	3,00	1,00
40	4,00	3,00	1,00	85	4,00	3,00	1,00
41	4,00	3,00	1,00	86	4,00	3,00	1,00
42	5,00	5,00	1,00	87	6,00	5,00	1,00
43	5,00	5,00	1,00	88	6,00	5,00	1,00
44	5,00	5,00	1,00	89	6,00	5,00	1,00
45	5,00	5,00	1,00	90	6,00	5,00	1,00

Tabla A.15. Demanda de capacidad mínima para P=50 y T=3. Experimento I.

<i>h</i>	Tareas			<i>h</i>	Tareas		
	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3		Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
1	1,00	1,00	0,46	46	1,00	1,00	0,46
2	3,00	3,36	1,87	47	3,00	3,98	2,21
3	3,00	3,91	2,17	48	3,00	4,29	2,38
4	3,98	5,97	3,32	49	4,49	6,73	3,74
5	4,26	6,38	3,55	50	4,67	7,00	3,89
6	4,34	6,52	3,62	51	4,51	6,77	3,76
7	4,56	6,84	3,80	52	4,83	7,25	4,03
8	4,51	6,77	3,76	53	4,48	6,72	3,73
9	4,16	6,24	3,47	54	4,29	6,44	3,58
10	4,30	6,44	3,58	55	4,49	6,73	3,74
11	5,07	7,60	4,22	56	4,69	7,04	3,91
12	5,25	7,87	4,37	57	5,18	7,77	4,32
13	5,10	7,66	4,25	58	5,26	7,89	4,38
14	5,10	7,66	4,25	59	5,26	7,89	4,38
15	5,10	7,66	4,25	60	5,26	7,89	4,38
16	1,00	1,00	0,46	61	1,00	1,00	0,46
17	3,00	4,25	2,36	62	3,00	4,20	2,33
18	3,19	4,79	2,66	63	3,13	4,69	2,61
19	4,68	7,02	3,90	64	4,57	6,85	3,81
20	4,86	7,29	4,05	65	4,87	7,30	4,06
21	4,73	7,10	3,94	66	4,64	6,96	3,87
22	4,62	6,93	3,85	67	5,05	7,58	4,21
23	4,70	7,04	3,91	68	4,83	7,24	4,02
24	4,37	6,56	3,64	69	4,46	6,68	3,71
25	4,46	6,70	3,72	70	4,95	7,42	4,12
26	4,87	7,30	4,06	71	5,28	7,93	4,40
27	5,00	7,50	4,17	72	6,00	8,47	4,71
28	5,13	7,70	4,28	73	6,00	8,75	4,86
29	5,13	7,70	4,28	74	6,00	8,75	4,86
30	5,13	7,70	4,28	75	6,00	8,75	4,86
31	1,00	1,00	0,46	76	1,00	1,00	0,46
32	3,14	4,71	2,62	77	3,19	4,78	2,66
33	3,23	4,85	2,69	78	3,54	5,31	2,95
34	4,61	6,92	3,84	79	5,47	8,21	4,56
35	4,70	7,05	3,91	80	5,70	8,55	4,75
36	4,53	6,79	3,77	81	5,91	8,87	4,93
37	4,66	6,98	3,88	82	5,89	8,84	4,91
38	4,54	6,81	3,78	83	5,67	8,50	4,72
39	4,25	6,37	3,54	84	5,29	7,94	4,41
40	4,58	6,88	3,82	85	6,08	9,12	5,07
41	4,81	7,21	4,01	86	6,26	9,40	5,22
42	5,00	7,43	4,13	87	6,77	10,16	5,64
43	5,10	7,64	4,25	88	6,76	10,14	5,63
44	5,10	7,64	4,25	89	6,76	10,13	5,63
45	5,10	7,64	4,25	90	6,76	10,13	5,63

Tabla A.16. Demanda de capacidad ideal para P=50 y T=3. Experimento I.

<i>h</i>	Tareas			<i>h</i>	Tareas		
	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3		Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
1	2,00	2,00	0,00	46	2,00	2,00	0,00
2	5,00	5,00	1,00	47	5,00	5,00	1,00
3	5,00	5,00	1,00	48	6,00	5,00	1,00
4	6,00	5,00	1,00	49	6,00	5,00	1,00
5	6,00	5,00	1,00	50	6,00	5,00	1,00
6	6,00	5,00	1,00	51	6,00	5,00	1,00
7	8,00	6,00	2,00	52	8,00	6,00	2,00
8	8,00	6,00	2,00	53	8,00	6,00	2,00
9	8,00	6,00	2,00	54	8,00	6,00	2,00
10	8,00	6,00	2,00	55	8,00	6,00	2,00
11	8,00	6,00	2,00	56	8,00	6,00	2,00
12	11,00	10,00	2,00	57	11,00	10,00	2,00
13	10,00	10,00	2,00	58	11,00	10,00	2,00
14	10,00	10,00	2,00	59	11,00	10,00	2,00
15	10,00	10,00	2,00	60	11,00	10,00	2,00
16	2,00	2,00	0,00	61	2,00	2,00	0,00
17	6,00	5,00	1,00	62	6,00	5,00	1,00
18	6,00	5,00	1,00	63	6,00	5,00	1,00
19	6,00	5,00	1,00	64	6,00	5,00	1,00
20	6,00	5,00	1,00	65	6,00	5,00	1,00
21	6,00	5,00	1,00	66	6,00	5,00	1,00
22	8,00	6,00	2,00	67	8,00	6,00	2,00
23	8,00	6,00	2,00	68	8,00	6,00	2,00
24	8,00	6,00	2,00	69	8,00	6,00	2,00
25	8,00	6,00	2,00	70	8,00	6,00	2,00
26	8,00	6,00	2,00	71	8,00	6,00	2,00
27	10,00	3,00	1,00	72	11,00	10,00	2,00
28	10,00	10,00	2,00	73	12,00	10,00	2,00
29	10,00	10,00	2,00	74	12,00	10,00	2,00
30	10,00	10,00	2,00	75	12,00	10,00	2,00
31	2,00	2,00	0,00	76	2,00	2,00	0,00
32	6,00	5,00	1,00	77	6,00	5,00	1,00
33	6,00	5,00	1,00	78	6,00	5,00	1,00
34	6,00	5,00	1,00	79	6,00	5,00	1,00
35	6,00	5,00	1,00	80	6,00	5,00	1,00
36	6,00	5,00	1,00	81	6,00	5,00	1,00
37	8,00	6,00	2,00	82	8,00	6,00	2,00
38	8,00	6,00	2,00	83	8,00	6,00	2,00
39	8,00	6,00	2,00	84	8,00	6,00	2,00
40	8,00	6,00	2,00	85	8,00	6,00	2,00
41	8,00	6,00	2,00	86	8,00	6,00	2,00
42	10,00	10,00	2,00	87	12,00	10,00	2,00
43	11,00	10,00	2,00	88	12,00	10,00	2,00
44	11,00	10,00	2,00	89	12,00	10,00	2,00
45	11,00	10,00	2,00	90	12,00	10,00	2,00

Tabla A.17. Demanda de capacidad mínima para P=100 y T=3. Experimento I.

<i>h</i>	Tareas			<i>h</i>	Tareas		
	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3		Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
1	2,00	2,00	0,92	46	2,00	2,00	0,92
2	5,00	6,73	3,74	47	5,30	7,95	4,42
3	5,21	7,82	4,34	48	6,00	8,57	4,76
4	7,96	11,94	6,64	49	8,98	13,47	7,48
5	8,51	12,77	7,09	50	9,33	14,00	7,78
6	8,69	13,03	7,24	51	9,02	13,54	7,52
7	9,13	13,69	7,61	52	9,67	14,50	8,05
8	9,02	13,53	7,52	53	8,96	13,44	7,47
9	8,32	12,48	6,93	54	8,59	12,88	7,16
10	8,59	12,89	7,16	55	8,98	13,47	7,48
11	10,14	15,21	8,45	56	9,39	14,08	7,82
12	11,00	15,74	8,75	57	11,00	15,55	8,64
13	10,21	15,31	8,51	58	11,00	15,78	8,76
14	10,21	15,31	8,51	59	11,00	15,78	8,76
15	10,21	15,31	8,51	60	11,00	15,78	8,76
16	2,00	2,00	0,92	61	2,00	2,00	0,92
17	6,00	8,50	4,72	62	6,00	8,40	4,67
18	6,39	9,58	5,32	63	6,26	9,39	5,22
19	9,35	14,03	7,79	64	9,14	13,71	7,62
20	9,72	14,58	8,10	65	9,73	14,60	8,11
21	9,47	14,20	7,89	66	9,28	13,92	7,73
22	9,24	13,86	7,70	67	10,11	15,16	8,42
23	9,39	14,09	7,83	68	9,66	14,48	8,05
24	8,74	13,12	7,29	69	8,91	13,37	7,43
25	8,93	13,39	7,44	70	9,90	14,85	8,25
26	9,74	14,60	8,11	71	10,57	15,85	8,81
27	10,01	15,01	8,34	72	11,30	16,95	9,42
28	10,27	15,40	8,56	73	12,00	17,50	9,72
29	10,27	15,40	8,56	74	12,00	17,50	9,72
30	10,27	15,40	8,56	75	12,00	17,50	9,72
31	2,00	2,00	0,92	76	2,00	2,00	0,92
32	6,28	9,42	5,23	77	6,37	9,56	5,31
33	6,46	9,69	5,38	78	7,08	10,63	5,90
34	9,22	13,83	7,68	79	10,95	16,42	9,12
35	9,39	14,09	7,83	80	11,40	17,10	9,50
36	9,05	13,58	7,55	81	11,83	17,74	9,86
37	9,31	13,97	7,76	82	11,78	17,67	9,82
38	9,08	13,62	7,57	83	11,33	17,00	9,45
39	8,50	12,75	7,08	84	10,58	15,87	8,82
40	9,17	13,75	7,64	85	12,16	18,25	10,14
41	9,62	14,43	8,02	86	12,53	18,79	10,44
42	10,00	14,86	8,25	87	13,54	20,31	11,28
43	11,00	15,29	8,49	88	13,52	20,28	11,27
44	11,00	15,29	8,49	89	13,51	20,27	11,26
45	11,00	15,29	8,49	90	13,51	20,27	11,26

Tabla A.18. Demanda de capacidad ideal para P=100 y T=3. Experimento I.

<i>h</i>	Tareas			<i>h</i>	Tareas		
	<i>Tipo 1</i>	<i>Tipo 2</i>	<i>Tipo 3</i>		<i>Tipo 1</i>	<i>Tipo 2</i>	<i>Tipo 3</i>
1	3,00	2,00	1,00	46	3,00	2,00	1,00
2	6,00	7,00	2,00	47	8,00	7,00	2,00
3	7,00	7,00	2,00	48	8,00	7,00	2,00
4	9,00	7,00	2,00	49	9,00	7,00	2,00
5	9,00	7,00	2,00	50	9,00	7,00	2,00
6	9,00	7,00	2,00	51	9,00	7,00	2,00
7	12,00	10,00	2,00	52	12,00	10,00	2,00
8	12,00	10,00	2,00	53	12,00	10,00	2,00
9	12,00	10,00	2,00	54	12,00	10,00	2,00
10	12,00	10,00	2,00	55	12,00	10,00	2,00
11	12,00	10,00	2,00	56	12,00	10,00	2,00
12	15,00	14,00	4,00	57	15,00	14,00	4,00
13	16,00	14,00	4,00	58	16,00	14,00	4,00
14	16,00	14,00	4,00	59	16,00	14,00	4,00
15	15,00	14,00	4,00	60	16,00	14,00	4,00
16	3,00	2,00	1,00	61	3,00	2,00	1,00
17	8,00	7,00	2,00	62	8,00	7,00	2,00
18	9,00	7,00	2,00	63	9,00	7,00	2,00
19	9,00	7,00	2,00	64	9,00	7,00	2,00
20	9,00	7,00	2,00	65	9,00	7,00	2,00
21	9,00	7,00	2,00	66	9,00	7,00	2,00
22	12,00	10,00	2,00	67	12,00	10,00	2,00
23	12,00	10,00	2,00	68	12,00	10,00	2,00
24	12,00	10,00	2,00	69	12,00	10,00	2,00
25	12,00	10,00	2,00	70	12,00	10,00	2,00
26	12,00	10,00	2,00	71	12,00	10,00	2,00
27	15,00	14,00	4,00	72	17,00	14,00	4,00
28	16,00	14,00	4,00	73	17,00	14,00	4,00
29	16,00	14,00	4,00	74	17,00	14,00	4,00
30	16,00	14,00	4,00	75	17,00	14,00	4,00
31	3,00	2,00	1,00	76	3,00	2,00	1,00
32	9,00	7,00	2,00	77	9,00	7,00	2,00
33	9,00	7,00	2,00	78	9,00	7,00	2,00
34	9,00	7,00	2,00	79	9,00	7,00	2,00
35	9,00	7,00	2,00	80	9,00	7,00	2,00
36	9,00	7,00	2,00	81	9,00	7,00	2,00
37	12,00	10,00	2,00	82	12,00	10,00	2,00
38	12,00	10,00	2,00	83	12,00	10,00	2,00
39	12,00	10,00	2,00	84	12,00	10,00	2,00
40	12,00	10,00	2,00	85	12,00	10,00	2,00
41	12,00	10,00	2,00	86	12,00	10,00	2,00
42	15,00	14,00	4,00	87	18,00	14,00	4,00
43	15,00	14,00	4,00	88	18,00	14,00	4,00
44	15,00	14,00	4,00	89	18,00	14,00	4,00
45	15,00	14,00	4,00	90	18,00	14,00	4,00

Tabla A.19. Demanda de capacidad mínima para P=150 y T=3. Experimento I.

<i>h</i>	Tareas			<i>h</i>	Tareas		
	<i>Tipo 1</i>	<i>Tipo 2</i>	<i>Tipo 3</i>		<i>Tipo 1</i>	<i>Tipo 2</i>	<i>Tipo 3</i>
1	3,00	2,48	1,38	46	3,00	2,48	1,38
2	6,73	10,09	5,60	47	8,00	11,93	6,63
3	7,82	11,73	6,51	48	8,57	12,86	7,14
4	11,94	17,92	9,95	49	13,47	20,20	11,22
5	12,77	19,15	10,64	50	14,00	20,99	11,66
6	13,03	19,55	10,86	51	13,54	20,30	11,28
7	13,69	20,53	11,41	52	14,50	21,75	12,08
8	13,53	20,30	11,28	53	13,44	20,16	11,20
9	12,48	18,72	10,40	54	12,88	19,32	10,73
10	12,89	19,33	10,74	55	13,47	20,20	11,22
11	15,21	22,81	12,67	56	14,08	21,12	11,73
12	15,74	23,61	13,12	57	15,55	23,32	12,95
13	16,00	22,97	12,76	58	16,00	23,66	13,15
14	16,00	22,97	12,76	59	16,00	23,66	13,15
15	15,31	22,97	12,76	60	16,00	23,66	13,15
16	3,00	2,48	1,38	61	3,00	2,48	1,38
17	8,50	12,74	7,08	62	8,40	12,60	7,00
18	9,58	14,37	7,98	63	9,39	14,08	7,82
19	14,03	21,05	11,69	64	13,71	20,56	11,42
20	14,58	21,86	12,15	65	14,60	21,90	12,17
21	14,20	21,30	11,83	66	13,92	20,88	11,60
22	13,86	20,78	11,55	67	15,16	22,74	12,63
23	14,09	21,13	11,74	68	14,48	21,72	12,07
24	13,12	19,67	10,93	69	13,37	20,05	11,14
25	13,39	20,09	11,16	70	14,85	22,27	12,37
26	14,60	21,91	12,17	71	15,85	23,78	13,21
27	15,01	22,51	12,51	72	17,00	25,42	14,12
28	16,00	23,10	12,83	73	17,50	26,24	14,58
29	16,00	23,10	12,83	74	17,50	26,24	14,58
30	16,00	23,10	12,83	75	17,50	26,24	14,58
31	3,00	2,48	1,38	76	3,00	2,48	1,38
32	9,42	14,13	7,85	77	9,56	14,34	7,97
33	9,69	14,54	8,08	78	10,63	15,94	8,86
34	13,83	20,75	11,53	79	16,42	24,64	13,69
35	14,09	21,14	11,74	80	17,10	25,65	14,25
36	13,58	20,37	11,32	81	17,74	26,61	14,78
37	13,97	20,95	11,64	82	17,67	26,51	14,73
38	13,62	20,43	11,35	83	17,00	25,50	14,17
39	12,75	19,12	10,62	84	15,87	23,81	13,23
40	13,75	20,63	11,46	85	18,25	27,37	15,21
41	14,43	21,64	12,02	86	18,79	28,19	15,66
42	15,00	22,29	12,38	87	20,31	30,47	16,93
43	15,29	22,93	12,74	88	20,28	30,42	16,90
44	15,29	22,93	12,74	89	20,27	30,40	16,89
45	15,29	22,93	12,74	90	20,27	30,40	16,89

Tabla A.20. Demanda de capacidad ideal para P=150 y T=3. Experimento I.

<i>h</i>	Tareas				<i>h</i>	Tareas			
	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4		Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4
1	1,00	0,00	0,00	0,00	46	1,00	0,00	0,00	0,00
2	1,00	1,00	1,00	1,00	47	1,00	1,00	1,00	1,00
3	1,00	1,00	1,00	1,00	48	1,00	1,00	1,00	1,00
4	1,00	1,00	1,00	1,00	49	1,00	1,00	1,00	1,00
5	1,00	1,00	1,00	1,00	50	1,00	1,00	1,00	1,00
6	1,00	1,00	1,00	1,00	51	1,00	1,00	1,00	1,00
7	1,00	1,00	1,00	1,00	52	1,00	1,00	1,00	1,00
8	1,00	1,00	1,00	1,00	53	1,00	1,00	1,00	1,00
9	1,00	1,00	1,00	1,00	54	1,00	1,00	1,00	1,00
10	1,00	1,00	1,00	1,00	55	1,00	1,00	1,00	1,00
11	1,00	1,00	1,00	1,00	56	1,00	1,00	1,00	1,00
12	2,00	2,00	1,00	1,00	57	2,00	2,00	1,00	1,00
13	2,00	2,00	1,00	1,00	58	2,00	2,00	1,00	1,00
14	2,00	2,00	1,00	1,00	59	2,00	2,00	1,00	1,00
15	2,00	2,00	1,00	1,00	60	2,00	2,00	1,00	1,00
16	1,00	0,00	0,00	0,00	61	1,00	0,00	0,00	0,00
17	1,00	1,00	1,00	1,00	62	1,00	1,00	1,00	1,00
18	1,00	1,00	1,00	1,00	63	1,00	1,00	1,00	1,00
19	1,00	1,00	1,00	1,00	64	1,00	1,00	1,00	1,00
20	1,00	1,00	1,00	1,00	65	1,00	1,00	1,00	1,00
21	1,00	1,00	1,00	1,00	66	1,00	1,00	1,00	1,00
22	1,00	1,00	1,00	1,00	67	1,00	1,00	1,00	1,00
23	1,00	1,00	1,00	1,00	68	1,00	1,00	1,00	1,00
24	1,00	1,00	1,00	1,00	69	1,00	1,00	1,00	1,00
25	1,00	1,00	1,00	1,00	70	1,00	1,00	1,00	1,00
26	1,00	1,00	1,00	1,00	71	1,00	1,00	1,00	1,00
27	2,00	2,00	1,00	1,00	72	2,00	2,00	1,00	1,00
28	2,00	2,00	1,00	1,00	73	2,00	2,00	1,00	1,00
29	2,00	2,00	1,00	1,00	74	2,00	2,00	1,00	1,00
30	2,00	2,00	1,00	1,00	75	2,00	2,00	1,00	1,00
31	1,00	0,00	0,00	0,00	76	1,00	0,00	0,00	0,00
32	1,00	1,00	1,00	1,00	77	1,00	1,00	1,00	1,00
33	1,00	1,00	1,00	1,00	78	1,00	1,00	1,00	1,00
34	1,00	1,00	1,00	1,00	79	1,00	1,00	1,00	1,00
35	1,00	1,00	1,00	1,00	80	1,00	1,00	1,00	1,00
36	1,00	1,00	1,00	1,00	81	1,00	1,00	1,00	1,00
37	1,00	1,00	1,00	1,00	82	1,00	1,00	1,00	1,00
38	1,00	1,00	1,00	1,00	83	1,00	1,00	1,00	1,00
39	1,00	1,00	1,00	1,00	84	1,00	1,00	1,00	1,00
40	1,00	1,00	1,00	1,00	85	1,00	1,00	1,00	1,00
41	1,00	1,00	1,00	1,00	86	1,00	1,00	1,00	1,00
42	2,00	2,00	1,00	1,00	87	2,00	2,00	1,00	1,00
43	2,00	2,00	1,00	1,00	88	2,00	2,00	1,00	1,00
44	2,00	2,00	1,00	1,00	89	2,00	2,00	1,00	1,00
45	2,00	2,00	1,00	1,00	90	2,00	2,00	1,00	1,00

Tabla A.21. Demanda de capacidad mínima para P=25 y T=4. Experimento I.

<i>h</i>	Tareas				<i>h</i>	Tareas			
	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4		Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4
1	1,00	0,33	0,33	0,35	46	1,00	0,33	0,33	0,35
2	1,00	1,32	1,32	1,00	47	1,00	1,56	1,56	1,00
3	1,00	1,53	1,53	1,00	48	1,00	1,68	1,68	1,00
4	1,34	2,34	2,34	1,00	49	1,51	2,64	2,64	1,00
5	1,43	2,51	2,51	1,00	50	1,57	2,75	2,75	1,00
6	1,46	2,56	2,56	1,00	51	1,52	2,66	2,66	1,00
7	1,53	2,69	2,69	1,00	52	1,63	2,84	2,84	1,00
8	1,52	2,65	2,65	1,00	53	1,51	2,64	2,64	1,00
9	1,40	2,45	2,45	1,00	54	1,44	2,53	2,53	1,00
10	1,44	2,53	2,53	1,00	55	1,51	2,64	2,64	1,00
11	1,71	2,98	2,98	1,00	56	1,58	2,76	2,76	1,00
12	2,00	3,09	3,09	1,00	57	2,00	3,05	3,05	1,00
13	2,00	3,00	3,00	1,00	58	2,00	3,10	3,10	1,00
14	2,00	3,00	3,00	1,00	59	2,00	3,10	3,10	1,00
15	2,00	3,00	3,00	1,00	60	2,00	3,10	3,10	1,00
16	1,00	0,33	0,33	0,35	61	1,00	0,33	0,33	0,35
17	1,00	1,67	1,67	1,00	62	1,00	1,65	1,65	1,00
18	1,07	1,88	1,88	1,00	63	1,05	1,84	1,84	1,00
19	1,57	2,75	2,75	1,00	64	1,54	2,69	2,69	1,00
20	1,63	2,86	2,86	1,00	65	1,64	2,86	2,86	1,00
21	1,59	2,79	2,79	1,00	66	1,56	2,73	2,73	1,00
22	1,55	2,72	2,72	1,00	67	1,70	2,97	2,97	1,00
23	1,58	2,76	2,76	1,00	68	1,62	2,84	2,84	1,00
24	1,47	2,57	2,57	1,00	69	1,50	2,62	2,62	1,00
25	1,50	2,63	2,63	1,00	70	1,66	2,91	2,91	1,00
26	1,64	2,87	2,87	1,00	71	1,78	3,11	3,11	1,00
27	2,00	2,94	2,94	1,00	72	2,00	3,33	3,33	1,00
28	2,00	3,02	3,02	1,00	73	2,00	3,43	3,43	1,00
29	2,00	3,02	3,02	1,00	74	2,00	3,43	3,43	1,00
30	2,00	3,02	3,02	1,00	75	2,00	3,43	3,43	1,00
31	1,00	0,33	0,33	0,35	76	1,00	0,33	0,33	0,35
32	1,06	1,85	1,85	1,00	77	1,07	1,88	1,88	1,00
33	1,09	1,90	1,90	1,00	78	1,19	2,08	2,08	1,00
34	1,55	2,71	2,71	1,00	79	1,84	3,22	3,22	1,00
35	1,58	2,76	2,76	1,00	80	1,92	3,35	3,35	1,00
36	1,52	2,66	2,66	1,00	81	1,99	3,48	3,48	1,00
37	1,57	2,74	2,74	1,00	82	1,98	3,47	3,47	1,00
38	1,53	2,67	2,67	1,00	83	1,91	3,34	3,34	1,00
39	1,43	2,50	2,50	1,00	84	1,78	3,11	3,11	1,00
40	1,54	2,70	2,70	1,00	85	2,05	3,58	3,58	1,00
41	1,62	2,83	2,83	1,00	86	2,11	3,69	3,69	1,00
42	2,00	2,91	2,91	1,00	87	2,28	3,98	3,98	1,00
43	2,00	3,00	3,00	1,00	88	2,27	3,98	3,98	1,00
44	2,00	3,00	3,00	1,00	89	2,27	3,98	3,98	1,00
45	2,00	3,00	3,00	1,00	90	2,27	3,98	3,98	1,00

Tabla A.22. Demanda de capacidad ideal para P=25 y T=4. Experimento I.

<i>h</i>	Tareas				<i>h</i>	Tareas			
	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4		Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4
1	1,00	1,00	0,00	0,00	46	1,00	1,00	0,00	0,00
2	2,00	2,00	1,00	0,00	47	2,00	2,00	1,00	0,00
3	2,00	2,00	1,00	0,00	48	2,00	2,00	1,00	0,00
4	2,00	2,00	1,00	0,00	49	2,00	2,00	1,00	0,00
5	2,00	2,00	1,00	0,00	50	2,00	2,00	1,00	0,00
6	2,00	2,00	1,00	0,00	51	2,00	2,00	1,00	0,00
7	2,00	2,00	2,00	0,00	52	2,00	2,00	2,00	0,00
8	2,00	2,00	2,00	0,00	53	2,00	2,00	2,00	0,00
9	2,00	2,00	2,00	0,00	54	2,00	2,00	2,00	0,00
10	2,00	2,00	2,00	0,00	55	2,00	2,00	2,00	0,00
11	2,00	2,00	2,00	0,00	56	2,00	2,00	2,00	0,00
12	4,00	4,00	2,00	1,00	57	4,00	4,00	2,00	1,00
13	4,00	4,00	2,00	1,00	58	4,00	4,00	2,00	1,00
14	4,00	4,00	2,00	1,00	59	4,00	4,00	2,00	1,00
15	4,00	4,00	2,00	1,00	60	4,00	4,00	2,00	1,00
16	1,00	1,00	0,00	0,00	61	1,00	1,00	0,00	0,00
17	2,00	2,00	1,00	0,00	62	2,00	2,00	1,00	0,00
18	2,00	2,00	1,00	0,00	63	2,00	2,00	1,00	0,00
19	2,00	2,00	1,00	0,00	64	2,00	2,00	1,00	0,00
20	2,00	2,00	1,00	0,00	65	2,00	2,00	1,00	0,00
21	2,00	2,00	1,00	0,00	66	2,00	2,00	1,00	0,00
22	2,00	2,00	2,00	0,00	67	2,00	2,00	2,00	0,00
23	2,00	2,00	2,00	0,00	68	2,00	2,00	2,00	0,00
24	2,00	2,00	2,00	0,00	69	2,00	2,00	2,00	0,00
25	2,00	2,00	2,00	0,00	70	2,00	2,00	2,00	0,00
26	2,00	2,00	2,00	0,00	71	2,00	2,00	2,00	0,00
27	4,00	4,00	2,00	1,00	72	4,00	4,00	2,00	1,00
28	4,00	4,00	2,00	1,00	73	4,00	4,00	2,00	1,00
29	4,00	4,00	2,00	1,00	74	4,00	4,00	2,00	1,00
30	4,00	4,00	2,00	1,00	75	4,00	4,00	2,00	1,00
31	1,00	1,00	0,00	0,00	76	1,00	1,00	0,00	0,00
32	2,00	2,00	1,00	0,00	77	2,00	2,00	1,00	0,00
33	2,00	2,00	1,00	0,00	78	2,00	2,00	1,00	0,00
34	2,00	2,00	1,00	0,00	79	2,00	2,00	1,00	0,00
35	2,00	2,00	1,00	0,00	80	2,00	2,00	1,00	0,00
36	2,00	2,00	1,00	0,00	81	2,00	2,00	1,00	0,00
37	2,00	2,00	2,00	0,00	82	2,00	2,00	2,00	0,00
38	2,00	2,00	2,00	0,00	83	2,00	2,00	2,00	0,00
39	2,00	2,00	2,00	0,00	84	2,00	2,00	2,00	0,00
40	2,00	2,00	2,00	0,00	85	2,00	2,00	2,00	0,00
41	2,00	2,00	2,00	0,00	86	2,00	2,00	2,00	0,00
42	4,00	4,00	2,00	1,00	87	4,00	4,00	2,00	1,00
43	4,00	4,00	2,00	1,00	88	4,00	4,00	2,00	1,00
44	4,00	4,00	2,00	1,00	89	4,00	4,00	2,00	1,00
45	3,00	4,00	2,00	1,00	90	4,00	4,00	2,00	1,00

Tabla A.23. Demanda de capacidad mínima para P=50 y T=4. Experimento I.

<i>h</i>	Tareas				<i>h</i>	Tareas			
	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4		Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4
1	1,00	1,00	0,64	0,21	46	1,00	1,00	0,64	0,21
2	2,00	2,62	2,62	0,63	47	2,00	3,09	3,09	0,63
3	2,00	3,04	3,04	0,63	48	2,00	3,33	3,33	0,63
4	2,65	4,65	4,65	0,63	49	2,99	5,24	5,24	0,63
5	2,84	4,97	4,97	0,63	50	3,11	5,44	5,44	0,63
6	2,90	5,07	5,07	0,63	51	3,01	5,26	5,26	0,63
7	3,04	5,32	5,32	0,84	52	3,22	5,64	5,64	0,84
8	3,01	5,26	5,26	0,84	53	2,99	5,23	5,23	0,84
9	2,77	4,85	4,85	0,84	54	2,86	5,01	5,01	0,84
10	2,86	5,01	5,01	0,84	55	2,99	5,24	5,24	0,84
11	3,38	5,91	5,91	0,84	56	3,13	5,48	5,48	0,84
12	4,00	6,12	6,12	1,26	57	4,00	6,05	6,05	1,26
13	4,00	5,96	5,96	1,26	58	4,00	6,14	6,14	1,26
14	4,00	5,96	5,96	1,26	59	4,00	4,00	6,14	1,26
15	4,00	5,96	5,96	1,26	60	4,00	4,00	6,14	1,26
16	1,00	1,00	0,64	0,21	61	1,00	1,00	0,64	0,21
17	2,00	3,30	3,30	0,63	62	2,00	3,27	3,27	0,63
18	2,13	3,73	3,73	0,63	63	2,09	3,65	3,65	0,63
19	3,12	5,46	5,46	0,63	64	3,05	5,33	5,33	0,63
20	3,24	5,67	5,67	0,63	65	3,24	5,68	5,68	0,63
21	3,16	5,52	5,52	0,63	66	3,09	5,41	5,41	0,63
22	3,08	5,39	5,39	0,84	67	3,37	5,90	5,90	0,84
23	3,13	5,48	5,48	0,84	68	3,22	5,63	5,63	0,84
24	2,91	5,10	5,10	0,84	69	2,97	5,20	5,20	0,84
25	2,98	5,21	5,21	0,84	70	3,30	5,77	5,77	0,84
26	3,25	5,68	5,68	0,84	71	3,52	6,16	6,16	0,84
27	4,00	5,84	5,84	1,26	72	4,00	6,59	6,59	1,26
28	4,00	5,99	5,99	1,26	73	4,00	6,80	6,80	1,26
29	4,00	5,99	5,99	1,26	74	4,00	6,80	6,80	1,26
30	4,00	5,99	5,99	1,26	75	4,00	6,80	6,80	1,26
31	1,00	1,00	0,64	0,21	76	1,00	1,00	0,64	0,21
32	2,09	3,66	3,66	0,63	77	2,12	3,72	3,72	0,63
33	2,15	3,77	3,77	0,63	78	2,36	4,13	4,13	0,63
34	3,07	5,38	5,38	0,63	79	3,65	6,39	6,39	0,63
35	3,13	5,48	5,48	0,63	80	3,80	6,65	6,65	0,63
36	3,02	5,28	5,28	0,63	81	3,94	6,90	6,90	0,63
37	3,10	5,43	5,43	0,84	82	3,93	6,87	6,87	0,84
38	3,03	5,30	5,30	0,84	83	3,78	6,61	6,61	0,84
39	2,83	4,96	4,96	0,84	84	3,53	6,17	6,17	0,84
40	3,06	5,35	5,35	0,84	85	4,05	7,10	7,10	0,84
41	3,21	5,61	5,61	0,84	86	4,18	7,31	7,31	0,84
42	4,00	5,78	5,78	1,26	87	4,51	7,90	7,90	1,26
43	4,00	5,94	5,94	1,26	88	4,51	7,89	7,89	1,26
44	4,00	5,94	5,94	1,26	89	4,50	7,88	7,88	1,26
45	3,00	5,94	5,94	1,19	90	4,50	7,88	7,88	1,26

Tabla A.24. Demanda de capacidad ideal para P=50 y T=4. Experimento I.

<i>h</i>	Tareas				<i>h</i>	Tareas			
	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4		Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4
1	1,00	1,00	1,00	0,00	46	1,00	1,00	1,00	0,00
2	3,00	4,00	2,00	1,00	47	3,00	4,00	2,00	1,00
3	3,00	4,00	2,00	1,00	48	3,00	4,00	2,00	1,00
4	4,00	4,00	2,00	1,00	49	4,00	4,00	2,00	1,00
5	4,00	4,00	2,00	1,00	50	4,00	4,00	2,00	1,00
6	4,00	4,00	2,00	1,00	51	4,00	4,00	2,00	1,00
7	5,00	5,00	3,00	1,00	52	5,00	5,00	3,00	1,00
8	5,00	5,00	3,00	1,00	53	5,00	5,00	3,00	1,00
9	5,00	5,00	3,00	1,00	54	5,00	5,00	3,00	1,00
10	5,00	5,00	3,00	1,00	55	5,00	5,00	3,00	1,00
11	5,00	5,00	3,00	1,00	56	5,00	5,00	3,00	1,00
12	7,00	7,00	5,00	1,00	57	7,00	7,00	5,00	1,00
13	7,00	7,00	5,00	1,00	58	7,00	7,00	5,00	1,00
14	7,00	7,00	5,00	1,00	59	7,00	7,00	5,00	1,00
15	7,00	7,00	5,00	1,00	60	7,00	7,00	5,00	1,00
16	1,00	1,00	1,00	0,00	61	1,00	1,00	1,00	0,00
17	3,00	4,00	2,00	1,00	62	4,00	4,00	2,00	1,00
18	4,00	4,00	2,00	1,00	63	4,00	4,00	2,00	1,00
19	4,00	4,00	2,00	1,00	64	4,00	4,00	2,00	1,00
20	4,00	4,00	2,00	1,00	65	4,00	4,00	2,00	1,00
21	4,00	4,00	2,00	1,00	66	4,00	4,00	2,00	1,00
22	5,00	5,00	3,00	1,00	67	5,00	5,00	3,00	1,00
23	5,00	5,00	3,00	1,00	68	5,00	5,00	3,00	1,00
24	5,00	5,00	3,00	1,00	69	5,00	5,00	3,00	1,00
25	5,00	5,00	3,00	1,00	70	5,00	5,00	3,00	1,00
26	5,00	5,00	3,00	1,00	71	5,00	5,00	3,00	1,00
27	7,00	7,00	5,00	1,00	72	7,00	7,00	5,00	1,00
28	7,00	7,00	5,00	1,00	73	7,00	7,00	5,00	1,00
29	7,00	7,00	5,00	1,00	74	7,00	7,00	5,00	1,00
30	7,00	7,00	5,00	1,00	75	7,00	7,00	5,00	1,00
31	1,00	1,00	1,00	0,00	76	1,00	1,00	1,00	0,00
32	4,00	4,00	2,00	1,00	77	4,00	4,00	2,00	1,00
33	4,00	4,00	2,00	1,00	78	4,00	4,00	2,00	1,00
34	4,00	4,00	2,00	1,00	79	4,00	4,00	2,00	1,00
35	4,00	4,00	2,00	1,00	80	4,00	4,00	2,00	1,00
36	4,00	4,00	2,00	1,00	81	4,00	4,00	2,00	1,00
37	5,00	5,00	3,00	1,00	82	5,00	5,00	3,00	1,00
38	5,00	5,00	3,00	1,00	83	5,00	5,00	3,00	1,00
39	5,00	5,00	3,00	1,00	84	5,00	5,00	3,00	1,00
40	5,00	5,00	3,00	1,00	85	5,00	5,00	3,00	1,00
41	5,00	5,00	3,00	1,00	86	5,00	5,00	3,00	1,00
42	7,00	7,00	5,00	1,00	87	7,00	7,00	5,00	1,00
43	7,00	7,00	5,00	1,00	88	7,00	7,00	5,00	1,00
44	7,00	7,00	5,00	1,00	89	7,00	7,00	5,00	1,00
45	7,00	7,00	5,00	1,00	90	7,00	7,00	5,00	1,00

Tabla A.25. Demanda de capacidad mínima para P=100 y T=4. Experimento I.

<i>h</i>	Tareas				<i>h</i>	Tareas			
	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4		Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4
1	1,00	1,29	1,29	0,42	46	1,00	1,29	1,29	0,42
2	3,00	5,23	5,23	1,05	47	3,53	6,18	6,18	1,19
3	3,00	6,08	6,08	1,05	48	3,81	6,67	6,67	1,19
4	5,31	9,29	9,29	1,26	49	5,99	10,48	10,48	1,26
5	5,68	9,93	9,93	1,26	50	6,22	10,89	10,89	1,26
6	5,79	10,14	10,14	1,26	51	6,02	10,53	10,53	1,26
7	6,08	10,65	10,65	1,68	52	6,44	11,28	11,28	1,68
8	6,01	10,52	10,52	1,68	53	5,97	10,45	10,45	1,68
9	5,55	9,70	9,70	1,68	54	5,72	10,02	10,02	1,68
10	5,73	10,02	10,02	1,68	55	5,99	10,48	10,48	1,68
11	6,76	11,83	11,83	1,68	56	6,26	10,95	10,95	1,68
12	7,00	12,24	12,24	2,52	57	7,00	12,09	12,09	2,52
13	7,00	11,91	11,91	2,52	58	7,01	12,27	12,27	2,52
14	7,00	11,91	11,91	2,52	59	7,01	12,27	12,27	2,52
15	7,00	11,91	11,91	2,52	60	7,01	12,27	12,27	2,52
16	1,00	1,29	1,29	0,42	61	1,00	1,29	1,29	0,42
17	3,78	6,61	6,61	1,19	62	4,00	6,53	6,53	1,26
18	4,26	7,45	7,45	1,26	63	4,17	7,30	7,30	1,26
19	6,24	10,91	10,91	1,26	64	6,09	10,66	10,66	1,26
20	6,48	11,34	11,34	1,26	65	6,49	11,36	11,36	1,26
21	6,31	11,04	11,04	1,26	66	6,19	10,82	10,82	1,26
22	6,16	10,78	10,78	1,68	67	6,74	11,79	11,79	1,68
23	6,26	10,96	10,96	1,68	68	6,44	11,26	11,26	1,68
24	5,83	10,20	10,20	1,68	69	5,94	10,40	10,40	1,68
25	5,95	10,42	10,42	1,68	70	6,60	11,55	11,55	1,68
26	6,49	11,36	11,36	1,68	71	7,04	12,33	12,33	1,68
27	7,00	11,67	11,67	2,52	72	7,53	13,18	13,18	2,52
28	7,00	11,98	11,98	2,52	73	7,78	13,61	13,61	2,52
29	7,00	11,98	11,98	2,52	74	7,78	13,61	13,61	2,52
30	7,00	11,98	11,98	2,52	75	7,78	13,61	13,61	2,52
31	1,00	1,29	1,29	0,42	76	1,00	1,29	1,29	0,42
32	4,19	7,33	7,33	1,26	77	4,25	7,44	7,44	1,26
33	4,31	7,54	7,54	1,26	78	4,72	8,27	8,27	1,26
34	6,15	10,76	10,76	1,26	79	7,30	12,77	12,77	1,26
35	6,26	10,96	10,96	1,26	80	7,60	13,30	13,30	1,26
36	6,04	10,56	10,56	1,26	81	7,88	13,80	13,80	1,26
37	6,21	10,86	10,86	1,68	82	7,85	13,75	13,75	1,68
38	6,05	10,59	10,59	1,68	83	7,56	13,22	13,22	1,68
39	5,67	9,92	9,92	1,68	84	7,05	12,34	12,34	1,68
40	6,11	10,70	10,70	1,68	85	8,11	14,19	14,19	1,68
41	6,41	11,22	11,22	1,68	86	8,35	14,62	14,62	1,68
42	7,00	11,56	11,56	2,52	87	9,03	15,80	15,80	2,52
43	7,00	11,89	11,89	2,52	88	9,01	15,78	15,78	2,52
44	7,00	11,89	11,89	2,52	89	9,01	15,76	15,76	2,52
45	7,00	11,89	11,89	2,52	90	9,01	15,76	15,76	2,52

Tabla A.26. Demanda de capacidad ideal para P=100 y T=4. Experimento I.

<i>h</i>	Tareas				<i>h</i>	Tareas			
	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4		Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4
1	2,00	2,00	1,00	0,00	46	2,00	2,00	1,00	0,00
2	4,00	5,00	4,00	1,00	47	5,00	5,00	4,00	1,00
3	5,00	5,00	4,00	1,00	48	5,00	5,00	4,00	1,00
4	5,00	5,00	4,00	1,00	49	5,00	5,00	4,00	1,00
5	5,00	5,00	4,00	1,00	50	5,00	5,00	4,00	1,00
6	5,00	5,00	4,00	1,00	51	5,00	5,00	4,00	1,00
7	7,00	7,00	5,00	1,00	52	7,00	7,00	5,00	1,00
8	7,00	7,00	5,00	1,00	53	7,00	7,00	5,00	1,00
9	7,00	7,00	5,00	1,00	54	7,00	7,00	5,00	1,00
10	7,00	7,00	5,00	1,00	55	7,00	7,00	5,00	1,00
11	7,00	7,00	5,00	1,00	56	7,00	7,00	5,00	1,00
12	11,00	11,00	7,00	2,00	57	11,00	11,00	7,00	2,00
13	11,00	11,00	7,00	2,00	58	11,00	11,00	7,00	2,00
14	11,00	11,00	7,00	2,00	59	11,00	11,00	7,00	2,00
15	11,00	11,00	7,00	2,00	60	11,00	11,00	7,00	2,00
16	2,00	2,00	1,00	0,00	61	2,00	2,00	1,00	0,00
17	5,00	5,00	4,00	1,00	62	5,00	5,00	4,00	1,00
18	5,00	5,00	4,00	1,00	63	5,00	5,00	4,00	1,00
19	5,00	5,00	4,00	1,00	64	5,00	5,00	4,00	1,00
20	5,00	5,00	4,00	1,00	65	5,00	5,00	4,00	1,00
21	5,00	5,00	4,00	1,00	66	5,00	5,00	4,00	1,00
22	7,00	7,00	5,00	1,00	67	7,00	7,00	5,00	1,00
23	7,00	7,00	5,00	1,00	68	7,00	7,00	5,00	1,00
24	7,00	7,00	5,00	1,00	69	7,00	7,00	5,00	1,00
25	7,00	7,00	5,00	1,00	70	7,00	7,00	5,00	1,00
26	7,00	7,00	5,00	1,00	71	7,00	7,00	5,00	1,00
27	11,00	11,00	7,00	2,00	72	11,00	11,00	7,00	2,00
28	11,00	11,00	7,00	2,00	73	11,00	11,00	7,00	2,00
29	11,00	11,00	7,00	2,00	74	11,00	11,00	7,00	2,00
30	11,00	11,00	7,00	2,00	75	11,00	11,00	7,00	2,00
31	2,00	2,00	1,00	0,00	76	2,00	2,00	1,00	0,00
32	5,00	5,00	4,00	1,00	77	5,00	5,00	4,00	1,00
33	5,00	5,00	4,00	1,00	78	5,00	5,00	4,00	1,00
34	5,00	5,00	4,00	1,00	79	5,00	5,00	4,00	1,00
35	5,00	5,00	4,00	1,00	80	5,00	5,00	4,00	1,00
36	5,00	5,00	4,00	1,00	81	5,00	5,00	4,00	1,00
37	7,00	7,00	5,00	1,00	82	7,00	7,00	5,00	1,00
38	7,00	7,00	5,00	1,00	83	7,00	7,00	5,00	1,00
39	7,00	7,00	5,00	1,00	84	7,00	7,00	5,00	1,00
40	7,00	7,00	5,00	1,00	85	7,00	7,00	5,00	1,00
41	7,00	7,00	5,00	1,00	86	7,00	7,00	5,00	1,00
42	10,00	11,00	7,00	2,00	87	11,00	11,00	7,00	2,00
43	10,00	11,00	7,00	2,00	88	11,00	11,00	7,00	2,00
44	11,00	11,00	7,00	2,00	89	11,00	11,00	7,00	2,00
45	11,00	11,00	7,00	2,00	90	11,00	11,00	7,00	2,00

Tabla A.27. Demanda de capacidad mínima para P=150 y T=4. Experimento I.

<i>h</i>	Tareas				<i>h</i>	Tareas			
	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4		Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4
1	2,00	2,00	1,93	0,63	46	2,00	2,00	1,93	0,63
2	4,48	7,85	7,85	1,54	47	5,30	9,28	9,28	1,89
3	5,21	9,12	9,12	1,89	48	5,72	10,00	10,00	1,89
4	7,96	13,94	13,94	1,89	49	8,98	15,71	15,71	1,89
5	8,51	14,90	14,90	1,89	50	9,33	16,33	16,33	1,89
6	8,69	15,21	15,21	1,89	51	9,02	15,79	15,79	1,89
7	9,13	15,97	15,97	2,52	52	9,67	16,91	16,91	2,52
8	9,02	15,79	15,79	2,52	53	8,96	15,68	15,68	2,52
9	8,32	14,56	14,56	2,52	54	8,59	15,03	15,03	2,52
10	8,59	15,04	15,04	2,52	55	8,98	15,71	15,71	2,52
11	10,14	17,74	17,74	2,52	56	9,39	16,43	16,43	2,52
12	11,00	18,37	18,37	3,78	57	11,00	18,14	18,14	3,78
13	11,00	17,87	17,87	3,78	58	11,00	18,41	18,41	3,78
14	11,00	17,87	17,87	3,78	59	11,00	18,41	18,41	3,78
15	11,00	17,87	17,87	3,78	60	11,00	18,41	18,41	3,78
16	2,00	2,00	1,93	0,63	61	2,00	2,00	1,93	0,63
17	5,66	9,91	9,91	1,89	62	5,60	9,80	9,80	1,89
18	6,39	11,18	11,18	1,89	63	6,26	10,95	10,95	1,89
19	9,35	16,37	16,37	1,89	64	9,14	15,99	15,99	1,89
20	9,72	17,00	17,00	1,89	65	9,73	17,03	17,03	1,89
21	9,47	16,56	16,56	1,89	66	9,28	16,24	16,24	1,89
22	9,24	16,16	16,16	2,52	67	10,11	17,69	17,69	2,52
23	9,39	16,43	16,43	2,52	68	9,66	16,90	16,90	2,52
24	8,74	15,30	15,30	2,52	69	8,91	15,60	15,60	2,52
25	8,93	15,63	15,63	2,52	70	9,90	17,32	17,32	2,52
26	9,74	17,04	17,04	2,52	71	10,57	18,49	18,49	2,52
27	11,00	17,51	17,51	3,78	72	11,30	19,77	19,77	3,78
28	11,00	17,97	17,97	3,78	73	11,66	20,41	20,41	3,78
29	11,00	17,97	17,97	3,78	74	11,66	20,41	20,41	3,78
30	11,00	17,97	17,97	3,78	75	11,66	20,41	20,41	3,78
31	2,00	2,00	1,93	0,63	76	2,00	2,00	1,93	0,63
32	6,28	10,99	10,99	1,89	77	6,37	11,16	11,16	1,89
33	6,46	11,31	11,31	1,89	78	7,08	12,40	12,40	1,89
34	9,22	16,14	16,14	1,89	79	10,95	19,16	19,16	1,89
35	9,39	16,44	16,44	1,89	80	11,40	19,95	19,95	1,89
36	9,05	15,85	15,85	1,89	81	11,83	20,70	20,70	1,89
37	9,31	16,29	16,29	2,52	82	11,78	20,62	20,62	2,52
38	9,08	15,89	15,89	2,52	83	11,33	19,83	19,83	2,52
39	8,50	14,87	14,87	2,52	84	10,58	18,52	18,52	2,52
40	9,17	16,04	16,04	2,52	85	12,16	21,29	21,29	2,52
41	9,62	16,83	16,83	2,52	86	12,53	21,92	21,92	2,52
42	10,00	17,33	17,33	3,64	87	13,54	23,70	23,70	3,78
43	10,19	17,83	17,83	3,64	88	13,52	23,66	23,66	3,78
44	11,00	17,83	17,83	3,78	89	13,51	23,64	23,64	3,78
45	11,00	17,83	17,83	3,78	90	13,51	23,64	23,64	3,78

Tabla A.28. Demanda de capacidad ideal para P=150 y T=4. Experimento I.

h	Personal (p)																										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		
1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
6	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	
7	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	
8	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	
9	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
10	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
11	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	
12	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	
13	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	
14	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	
15	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	
16	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
17	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
18	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
19	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
20	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
21	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
22	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
23	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
24	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
25	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
26	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	
27	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	
28	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	
29	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	
30	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	
31	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
32	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
33	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
34	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
35	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	
36	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	
37	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
38	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
39	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
40	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
41	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
42	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
43	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
44	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
45	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
46	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
47	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
49	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
50	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
51	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
52	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
53	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
54	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
55	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
56	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
57	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
58	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
59	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
61	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
62	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
63	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
64	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
65	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
66	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0
67	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0
68	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
69	1	1	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
70	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
71	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	

h	Personal (p)																									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
2	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0
3	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0
4	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0
5	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0
6	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0
7	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0
9	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0
10	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0
12	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
13	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
14	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
15	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
17	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0
18	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0
19	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0
20	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0
21	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0
22	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
24	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0
25	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
26	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0
27	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0
28	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0
29	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0
30	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
32	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0
33	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0
34	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0
35	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0
36	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0
37	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
38	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0
39	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0
40	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
41	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1
42	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1
43	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0
44	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1
45	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1
46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
47	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
48	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
49	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
50	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
51	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
52	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
53	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
54	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
55	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
56	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1
57	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1
58	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1
59	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1
60	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1
61	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
62	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
63	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
64	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
65	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
66	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
67	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
68	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0
69	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
70	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
71	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1
72	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1
73																										

h	Personal (p)																								
	1e	2e	3e	4e	5e	6e	7e	8e	9e	10e	11e	12e	13e	14e	15e	16e	17e	18e	19e	20e	21e	22e	23e	24e	25e
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
2	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1
3	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1
4	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1
5	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1
6	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1
7	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1
8	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1
9	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0
10	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0
11	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0
12	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0
13	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0
14	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0
15	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
17	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
18	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0
19	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0
20	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0
21	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0
22	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0
23	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
24	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0
25	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0
26	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0
27	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0
28	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0
29	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0
30	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
32	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1
33	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1
34	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1
35	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1
36	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1
37	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1
38	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1
39	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1
40	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1
41	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0
42	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0
43	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0
44	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0
45	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0
46	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
47	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
48	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
49	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
50	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
51	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
52	0	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	1	0
53	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	1
54	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1
55	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1
56	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0
57	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0
58	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0
59	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0
60	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0
61	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
62	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1
63	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1
64	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1
65	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1
66	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1
67	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0
68	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0
69	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1
70	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	0
71	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0
72	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0
73	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0
74	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0
75	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0</											

h	Personal (p)																										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
2	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	
3	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	
4	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	
5	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	
6	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	
7	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	
8	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	
9	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	
10	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	
11	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	
12	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	
13	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	
14	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	
15	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
17	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	
18	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	
19	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	
20	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	
21	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	
22	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	
23	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	
24	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	
25	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0
26	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	
27	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	
28	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	
29	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	
30	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
32	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	
33	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	
34	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	
35	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	
36	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	
37	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	
38	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1
39	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	
40	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1
41	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	
42	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	
43	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	
44	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	
45	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	
46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
47	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	
48	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	
49	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	
50	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	
51	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	
52	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	
53	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	
54	0	1	0	1	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	
55	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	
56	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	
57	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	
58	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	
59	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	
60	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	
61	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
62	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	
63	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	
64	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	
65	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	
66	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	
67	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	
68	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	
69	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	
70	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1
71	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	
72	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0			

h	Personal (p)																								
	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1
27	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1
28	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1
29	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1
30	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1
31	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
41	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0
42	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
43	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
44	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
45	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
46	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
47	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
49	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
51	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
52	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
53	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
54	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
55	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
56	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0
57	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1
58	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1
59	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0
60	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0
61	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
62	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
63	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
64	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
65	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
66	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
67	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
68	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
69	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
70	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
71	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0
72	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0
73	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0
74	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0
75	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1									

Ejemplar		Tiempo (seg.)	Solución	Resultado
tipología	P			
X	25	4,17	28,03	Óptimo
	50	7,73	52,62	Óptimo
	100	13,67	102,49	Óptimo
	150	22	152,58	Óptimo
XI	25	6,17	64,16	Óptimo
	50	8,28	127,40	Óptimo
	100	15,50	249,01	Óptimo
	150	26,64	371,93	Óptimo
XII	25	5,43	53,92	Óptimo
	50	8,59	96,86	Óptimo
	100	16,07	183,78	Óptimo
	150	22,54	273,08	Óptimo
XIII	25	6,06	102,36	Óptimo
	50	9,78	204,69	Óptimo
	100	17,90	400,01	Óptimo
	150	23,68	599,22	Óptimo
XIV	25	961,42	86,52	Óptimo
	50	8,81	166,53	Óptimo
	100	16,5	322,85	Óptimo
	150	25,68	482,23	Óptimo
XV	25	5,75	82,63	Óptimo
	50	9,28	164,70	Óptimo
	100	16,87	308,60	Óptimo
	150	23,06	453,79	Óptimo

Tabla A.42. Resultados de la experimentación I (caso real) con un Horizonte 90, y ponderación de la función= [1,1,1,1]

Ejemplar		Tiempo (seg.)	Solución	Resultado
tipología	P			
X	25	4,62	42,75	Óptimo
	50	7,73	72,12	Óptimo
	100	14,76	121,28	Óptimo
	150	24,01	171,93	Óptimo
XI	25	5,24	78,39	Óptimo
	50	8,51	145,58	Óptimo
	100	16,10	266,92	Óptimo
	150	22,04	390,99	Óptimo
XII	25	5,87	64,55	Óptimo
	50	9,77	118,31	Óptimo
	100	15,82	214,42	Óptimo
	150	23,74	313,18	Óptimo
XIII	25	5,81	118,72	< 5% respecto a cota
	50	8,93	231,81	Óptimo
	100	16,66	427,00	Óptimo
	150	25,05	627,98	Óptimo
XIV	25	5,85	101,18	< 5% respecto a cota
	50	21,59	195,43	Óptimo
	100	17,20	358,60	Óptimo
	150	23,91	518,02	Óptimo
XV	25	6,04	94,53	< 5% respecto a cota
	50	9,95	187,69	< 5% respecto a cota
	100	17,44	349,88	Óptimo
	150	25,74	5058,45	Óptimo

Tabla A.43. Resultados de la experimentación I (caso real) con un Horizonte 90, y ponderación de la función= [10,1,0,1]

Ejemplar		Tiempo (seg.)	Solución	Resultado
tipología	P			
X	25	4,65	30,11	Óptimo
	50	7,78	53,85	Óptimo
	100	14,59	103,62	Óptimo
	150	22,20	153,88	Óptimo
XI	25	5,21	67,73	< 5% respecto a cota
	50	8,53	131,02	< 5% respecto a cota
	100	16,00	255,70	< 5% respecto a cota
	150	23,00	381,62	Óptimo
XII	25	5,28	53,59	< 5% respecto a cota
	50	23,26	96,98	Óptimo
	100	15,5	182,02	Óptimo
	150	21,86	273,13	Óptimo
XIII	25	5,93	107,08	< 5% respecto a cota
	50	9,64	209,98	< 5% respecto a cota
	100	16,29	408,48	< 5% respecto a cota
	150	25,01	610,29	< 5% respecto a cota
XIV	25	6,78	91,98	< 5% respecto a cota
	50	9,23	169,13	< 5% respecto a cota
	100	16,92	326,31	< 5% respecto a cota
	150	27	486,66	< 5% respecto a cota
XV	25	17	87,88	Óptimo
	50	9,23	169,10	< 5% respecto a cota
	100	16,96	322,23	< 5% respecto a cota
	150	24,18	473,68	Óptimo

Tabla A.44. Resultados de la experimentación I (caso real) con un Horizonte 90, y ponderación de la función= [0,1,10,1].

Ejemplar		Tiempo (seg.)	Solución	Resultado
tipología	P			
X	25	4,65	140,53	Óptimo
	50	7,81	277,62	Óptimo
	100	14,75	552,49	Óptimo
	150	23,53	827,58	Óptimo
XI	25	5,21	380,07	Óptimo
	50	8,48	783,50	Óptimo
	100	16,12	1545,01	Óptimo
	150	22,07	2324,03	Óptimo
XII	25	5,23	284,93	Óptimo
	50	8,70	540,56	Óptimo
	100	16,23	1041,48	Óptimo
	150	23,90	1564,58	Óptimo
XIII	25	5,89	593,84	Óptimo
	50	9,40	1225,29	Óptimo
	100	17,62	2416,16	Óptimo
	150	23,71	3635,82	Óptimo
XIV	25	5,78	446,04	Óptimo
	50	9,34	876,68	Óptimo
	100	17,57	1720,28	Óptimo
	150	23,75	2581,36	Óptimo
XV	25	6,39	385,33	Óptimo
	50	10,67	729,97	Óptimo
	100	16,57	1443,50	Óptimo
	150	25,65	2146,69	Óptimo

Tabla A.45. Resultados de la experimentación I (caso real) con un Horizonte 90, y ponderación de la función= [1,10,1,1].

Ejemplar		Tiempo (seg.)	Solución	Resultado
tipología	P			
X	25	4,64	78,63	Óptimo
	50	7,62	110,74	Óptimo
	100	14,15	193,79	Óptimo
	150	21,21	284,45	Óptimo
XI	25	5,18	187,17	< 5% respecto a cota
	50	8,73	230,06	< 5% respecto a cota
	100	15,92	365,22	< 5% respecto a cota
	150	22,18	518,63	< 5% respecto a cota
XII	25	122,89	98,36	< 10% respecto a cota
	50	9,81	151,35	< 10% respecto a cota
	100	16,32	268,70	< 5% respecto a cota
	150	23,95	391,94	< 5% respecto a cota
XIII	25	16,95	179,56	< 10% respecto a cota
	50	9,20	414,85	< 5% respecto a cota
	100	16,79	571,48	< 5% respecto a cota
	150	24,81	818,90	< 5% respecto a cota
XIV	25	955,74	130,64	> 20% respecto a cota
	50	9,59	254,65	< 5% respecto a cota
	100	18,14	424,26	< 5% respecto a cota
	150	23,39	631,48	< 5% respecto a cota
XV	25	226,36	115,41	< 15% respecto a cota
	50	46,72	207,55	< 5% respecto a cota
	100	16,81	382,97	< 5% respecto a cota
	150	24,36	569,53	< 5% respecto a cota

Tabla A.46. Resultados de la experimentación I (caso real) con un Horizonte 90, y ponderación de la función= [100,1,0,1].

Ejemplar		Tiempo (seg.)	Solución	Resultado
tipología	P			
X	25	4,68	51,86	Óptimo
	50	7,89	64,82	Óptimo
	100	13,57	116,28	Óptimo
	150	21,68	166,74	Óptimo
XI	25	5,23	103,14	< 10% respecto a cota
	50	8,42	152,19	< 5% respecto a cota
	100	15,39	273,17	< 5% respecto a cota
	150	25,73	398,46	< 5% respecto a cota
XII	25	5,67	92,48	< 5% respecto a cota
	50	8,62	124,06	< 5% respecto a cota
	100	15,96	202,90	< 5% respecto a cota
	150	21,98	296,02	< 5% respecto a cota
XIII	25	69,87	154,38	< 5% respecto a cota
	50	20,37	254,14	< 10% respecto a cota
	100	16,51	442,54	< 5% respecto a cota
	150	25,36	637,07	< 5% respecto a cota
XIV	25	71,8	154,72	< 5% respecto a cota
	50	26,96	194,28	< 5% respecto a cota
	100	17,60	351,15	< 5% respecto a cota
	150	23,81	507,27	< 5% respecto a cota
XV	25	6,40	155,16	< 5% respecto a cota
	50	17,59	242,92	< 5% respecto a cota
	100	16,37	386,56	< 5% respecto a cota
	150	25,75	535,29	< 5% respecto a cota

Tabla A.47. Resultados de la experimentación I (caso real) con un Horizonte 90, y ponderación de la función= [0,1,100,1].

Ejemplar		Tiempo (seg.)	Solución	Resultado
tipología	P			
X	25	4,66	44,24	Óptima
	50	7,69	72,54	Óptima
	100	14,73	121,24	Óptima
	150	24,01	172,31	Óptima
XI	25	5,25	80,83	Óptima
	50	8,58	146,88	Óptima
	100	16,19	268,26	Óptima
	150	22,71	392,30	Óptima
XII	25	5,74	66,25	Óptima
	50	9,39	119,43	Óptima
	100	16,71	215,49	Óptima
	150	22,29	314,20	Óptima
XIII	25	5,87	121,11	< 5% respecto a cota
	50	17,97	233,99	Óptima
	100	16,84	429,45	Óptima
	150	23,86	630,47	Óptima
XIV	25	5,96	102,79	< 5% respecto a cota
	50	9,55	199,31	< 5% respecto a cota
	100	16,12	359,88	Óptima
	150	25,54	519,35	Óptima
XV	25	6,42	96,18	< 5% respecto a cota
	50	10,41	189,62	< 5% respecto a cota
	100	17,92	351,15	Óptima
	150	26,28	509,75	Óptima

Tabla A.48. Resultados de la experimentación I (caso real) con un Horizonte 90, y ponderación de la función= [10,1,1,1].

Ejemplar		Tiempo (seg.)	Solución	Resultado
tipología	P			
X	25	4,62	32,26	Óptima
	50	7,75	56,01	Óptima
	100	14,97	105,74	Óptima
	150	24,00	156,07	Óptima
XI	25	5,17	73,73	< 5% respecto a cota
	50	8,21	134,79	< 5% respecto a cota
	100	15,31	259,81	< 5% respecto a cota
	150	24,50	384,98	< 5% respecto a cota
XII	25	5,23	60,26	< 5% respecto a cota
	50	31,87	101,53	Óptima
	100	15,72	187,96	Óptima
	150	21,64	279,05	Óptima
XIII	25	5,89	109,56	< 5% respecto a cota
	50	9,46	215,89	< 5% respecto a cota
	100	17,71	413,01	< 5% respecto a cota
	150	23,53	615,22	< 5% respecto a cota
XIV	25	6,47	95,17	< 5% respecto a cota
	50	10,39	175,12	< 5% respecto a cota
	100	16,13	330,79	< 5% respecto a cota
	150	25,38	491,35	< 5% respecto a cota
XV	25	6,83	91,20	< 5% respecto a cota
	50	9,18	175,19	< 5% respecto a cota
	100	17,12	327,11	< 5% respecto a cota
	150	23,67	479,00	Óptima

Tabla A.49. Resultados de la experimentación I (caso real) con un Horizonte 90, y ponderación de la función= [1,1,10,1].

Ejemplar		Tiempo (seg.)	Solució n	Resultado
tipología	P			
X	25	4,62	53,86	Óptima
	50	7,76	66,95	Óptima
	100	14,58	118,30	Óptima
	150	23,89	168,84	Óptima
XI	25	5,35	109,67	10%
	50	8,42	155,55	< 5% respecto a cota
	100	15,42	278,09	< 5% respecto a cota
	150	26,10	403,25	< 5% respecto a cota
XII	25	5,54	99,85	< 5% respecto a cota
	50	8,64	128,18	< 5% respecto a cota
	100	16,00	207,88	< 5% respecto a cota
	150	23,11	300,66	< 5% respecto a cota
XIII	25	54,18	156,75	< 5% respecto a cota
	50	9,59	264,71	< 10% respecto a cota
	100	16,29	446,29	< 5% respecto a cota
	150	235,34	642,05	< 5% respecto a cota
XIV	25	7,79	156,89	< 5% respecto a cota
	50	9,87	206,99	< 10% respecto a cota
	100	16,15	355,42	< 5% respecto a cota
	150	25,71	511,61	< 5% respecto a cota
XV	25	5,81	156,38	< 5% respecto a cota
	50	18,98	247,83	< 5% respecto a cota
	100	17,37	390,30	< 5% respecto a cota
	150	23,68	539,55	< 5% respecto a cota

Tabla A.50. Resultados de la experimentación I (caso real) con un Horizonte 90, y ponderación de la función= [1,1,100,1].

Ejemplar		Tiempo (seg.)	Solución	Resultado
tipología	P			
X	25	4,63	140,53	Óptima
	50	7,63	277,62	Óptima
	100	14,63	552,49	Óptima
	150	24,45	827,58	Óptima
XI	25	5,19	290,15	Óptima
	50	8,71	578,03	Óptima
	100	16,04	1149,01	Óptima
	150	23,02	1721,93	Óptima
XII	25	5,58	244,43	Óptima
	50	9,39	919,98	Óptima
	100	17,26	919,98	Óptima
	150	22,10	1380,08	Óptima
XIII	25	6,32	481,38	Óptima
	50	10,33	966,07	Óptima
	100	16,13	1913,75	Óptima
	150	25,65	2870,40	Óptima
XIV	25	6,98	457,74	Óptima
	50	9,13	901,88	Óptima
	100	16,81	1776,08	Óptima
	150	25,11	2664,16	Óptima
XV	25	5,76	469,03	Óptima
	50	9,37	927,27	Óptima
	100	17,34	1796,30	Óptima
	150	23,57	2671,39	Óptima

Tabla A.51. Resultados de la experimentación I (caso real) con un Horizonte 90, y ponderación de la función= [1,1,1,10].

Ejemplar		Tiempo (seg.)	Solución	Resultado
tipología	P			
X	25	4,81	79,39	Óptima
	50	7,70	111,52	Óptima
	100	15,29	194,63	Óptima
	150	22,70	285,17	Óptima
XI	25	5,51	191,09	< 5% respecto a cota
	50	8,78	232,61	< 5% respecto a cota
	100	16,00	366,57	< 5% respecto a cota
	150	24,64	519,49	< 5% respecto a cota
XII	25	11,34	105,30	< 15% respecto a cota
	50	20,72	152,70	< 10% respecto a cota
	100	15,72	270,68	< 5% respecto a cota
	150	23,40	393,44	< 5% respecto a cota
XIII	25	940,51	180,64	< 10% respecto a cota
	50	9,39	421,97	< 5% respecto a cota
	100	17,19	573,68	< 5% respecto a cota
	150	24,76	821,17	< 5% respecto a cota
XIV	25	955,79	135,76	< 15% respecto a cota
	50	64,58	256,46	< 5% respecto a cota
	100	17,45	428,47	< 5% respecto a cota
	150	25,27	634,14	< 5% respecto a cota
XV	25	905,26	117,45	< 15% respecto a cota
	50	143,48	209,89	< 5% respecto a cota
	100	16,43	386,46	< 5% respecto a cota
	150			< 5% respecto a cota

Tabla A.52. Resultados de la experimentación I (caso real) con un Horizonte 90, y ponderación de la función= [100,1,1,1].

Ejemplar		Ti	As	Ti	As	Ti	As	Ti	As
Tipología	P	12 H		50 H		100 H		168 H	
		I	10	1,29	óptima	3,09	óptima	11,51	óptima
50	2,14		óptima	12,79	óptima	52,52	óptima	216,96	óptima
100	3,18		óptima	20,46	óptima	106,24	óptima	524,48	óptima
II	10	1,48	óptima	8,68	óptima	33,05	óptima	1542,42	óptima
	50	5,06	óptima	133,2 6	óptima	185,7	>10%	506,59	>10%
	100	10,48	óptima	333,14	<10%	155,64	>10%	791,31	>10%
III	10	2,56	óptima	8,68	óptima	33,43	óptima	151,77	óptima
	50	5,12	óptima	132,73	óptima	99,28	>10%	489,72	>10%
	100	10,54	óptima	575,66	<10%	154,3	<10%	478,08	óptima
IV	10	2,59	óptima	4,40	óptima	16,51	óptima	66,68	óptima
	50	2,51	óptima	25,79	óptima	100,82	óptima	373,36	óptima
	100	4,64	óptima	110,1 5	óptima	218,40	óptima	792,36	óptima
V	10	3	óptima	5,42	óptima	16,98	óptima	66,65	óptima
	50	2,25	óptima	25,64	óptima	102,23	óptima	415,62	óptima
	100	5,46	óptima	114,5 0	óptima	235,97	óptima	900	óptima
VI	10	2,51	óptima	4,96	óptima	16,89	óptima	65,71	óptima
	50	2,64	óptima	18,04	óptima	108,03	óptima	400,62	óptima
	100	5,82	óptima	53,23	óptima	212,00	óptima	900	óptima
VII	10	6,96	óptima	6,68	óptima	26,82	óptima	108,64	óptima
	50	14,59	óptima	29,48	óptima	184,09	óptima	790,44	óptima
	100	8,40	óptima	84,92	óptima	439,76	óptima	fallo	
VIII	10	8,26	<5%	7,01	óptima	28,5	óptima	108,45	<10%
	50	14,62	<5%	38,68	óptima	375,98	óptima	751,75	<5%
	100	5,15	<5%	218,36	óptima	787,14	óptima	fallo	
IX	10	7,93	<5%	7,28	óptima	28,34	óptima	151,26	<5%
	50	14,71	<5%	38,51	óptima	184,68	<5%	776,66	<5%
	100	5,84	<5%	84,36	<5%	438,26	<5%	fallo	

Tabla A.53. Experimento hipotético A con ponderación [1,1,1,1,1], donde Ti=tiempo en segundos y As=tipo de asignación obtenida

Ejemplar		Ti	As	Ti	As	Ti	As	Ti	As
Tipología	P	12 H		50 H		100 H		168 H	
I	10	4,17	óptima	4,5	óptima	11,78	óptima	44,89	óptima
	50	2,14	óptima	13,09	óptima	52,72	óptima	222,87	óptima
	100	3,25	óptima	21,45	óptima	107,12	óptima	479,71	óptima
II	10	4,26	óptima	4,15	óptima	22,89	óptima	83,48	óptima
	50	2,65	óptima	52,23	óptima	82,44	óptima	217,83	óptima
	100	4,11	óptima	28,00	óptima	156,78	óptima	475,82	óptima
III	10	1,84	óptima	4,46	óptima	22,89	óptima	83,09	óptima
	50	2,64	óptima	51,67	óptima	82,62	óptima	219,03	óptima
	100	4,07	óptima	28,04	óptima	151,06	óptima	496,39	óptima
IV	10	4,31	óptima	6,24	óptima	16,76	óptima	65,29	óptima
	50	2,30	óptima	16,15	óptima	366,44	<5%	364,92	óptima
	100	3,76	óptima	32,97	óptima	173,5	>5%	fallo	
V	10	4,67	óptima	6,86	óptima	16,40	óptima	6,67	óptima
	50	2,42	óptima	41,27	<5%	204,14	<5%	Fallo	
	100	4,07	óptima	28,04	óptima	354,89	óptima	fallo	
VI	10	3	óptima	4,18	óptima	16,64	óptima	65,33	óptima
	50	2,42	óptima	16,07	óptima	83,51	óptima	Fallo	
	100	4,29	óptima	48,04	óptima	305,35	óptima	Fallo	
VII	10	4,90	óptima	6,67	óptima	26,98	óptima	109,61	óptima
	50	No factible		36,62	óptima	fallo		Fallo	
	100	8,65	óptima	125,44	óptima	fallo		Fallo	
VIII	10	5,98	óptima	6,43	óptima	27,04	óptima	109,80	óptima
	50	No factible		35,59	óptima	fallo		Fallo	
	100	5,59	óptima	fallo		fallo		Fallo	
IX	10	5,87	óptima	7,26	óptima	27,12	óptima	109,30	óptima
	50	No factible		3	<5%	202,84	<5%	Fallo	
	100	5,68	óptima	125,43	<5%	fallo		fallo	

Tabla A.54. Experimento hipotético E con ponderación [1,1,1,1,1,1] donde Ti=tiempo en segundos y As=tipo de asignación.

Ejemplar		Ti	As	Ti	As	Ti	As	Ti	As
Tipología	P	12 H		50 H		100 H		168 H	
I	10	1,45	óptima	3,14	óptima	11,87	óptima	45,98	óptima
	50	2,12	óptima	12,98	óptima	53,48	óptima	222,74	óptima
	100	3,14	óptima	20,59	óptima	108,80	óptima	357,69	óptima
II	10	2,82	óptima	8,28	óptima	32,83	óptima	119,94	óptima
	50	5,23	óptima	76,62	óptima	176,2	>10%	264,09	>10%
	100	12,92	óptima	302,76	óptima	616,89	>10%	462,11	>10%
III	10	2,28	óptima	8,35	óptima	32,76	óptima	120,53	óptima
	50	5,21	óptima	76,44	óptima	158,59	>10%	79,42	>10%
	100	13,04	óptima	302,15	óptima	108,39	>10%	466,48	>10%
IV	10	10,35	óptima	7,53	óptima	17,75	óptima	f	
	50	3,79	óptima	26,57	óptima	84,26	óptima	353,64	óptima
	100	4,90	óptima	120,50	óptima	170,72	óptima	895,47	óptima
V	10	3,20	óptima	5,51	óptima	17,70	óptima	66,14	óptima
	50	2,64	óptima	34,90	óptima	98,92	óptima	391,67	óptima
	100	5,53	óptima	86,08	óptima	215,94	óptima	900	óptima
VI	10	2,76	óptima	6,62	óptima	17,34	óptima	66,75	óptima
	50	2,57	óptima	29,17	óptima	96,47	óptima	408,42	óptima
	100	5,87	óptima	93,08	óptima	243,32	óptima	851,61	óptima
VII	10	6,75	<5%	6,56	óptima	27,70	óptima	108,36	<5%
	50	3,64	<5%	47,81	óptima	255,60	óptima	665,31	<5%
	100	7,53	<5%	127,45	óptima	880,19	óptima	fallo	
VIII	10	8,15	<5%	6,71	óptima	27,65	óptima	107,90	<5%
	50	3,70	<5%	47,97	óptima	256,79	óptima	fallo	
	100	8,89	<5%	127,87	óptima	fallo		fallo	
IX	10	9,42	<5%	6,95	óptima	28,04	óptima	108,87	<5%
	50	3,78	<5%	48,00	óptima	257,86	óptima	598,88	<5%
	100	9,35	<5%	127,27	óptima	587,44	óptima	Fallo	

Tabla A.55. Experimento hipotético B con ponderación [1,1,1,1,1] donde Ti=tiempo en segundos y As=tipo de asignación.

Ejemplar		Ti	As	Ti	As	Ti	As	Ti	As
Tipología	P	12 H		50 H		100 H		168 H	
I	10	6,21	óptima	8,30	óptima	11,92	óptima	45,61	óptima
	50	2,20	óptima	13,0	óptima	54,61	óptima	220,79	óptima
	100	3,00	óptima	22,87	óptima	109,50	óptima	532,72	óptima
II	10	1,76	óptima	7,14	óptima	23	óptima	88,01	óptima
	50	4,14	óptima	1	óptima	176,58	óptima	220,58	óptima
	100	6,73	óptima	95,70	óptima	109,32	óptima	506,84	óptima
III	10	4,71	óptima	9,3	óptima	23	óptima	88,22	óptima
	50	4,11	óptima	60,78	óptima	66,18	10%	219,88	óptima
	100	6,67	óptima	27,90	<10%	109,38	óptima	506,03	óptima
IV	10	1,13	óptima	4,04	<5%	16,75	<5%	65,78	óptima
	50	2,3	óptima	50,95	<5%	165,17	<5%	3	óptima
	100	4,17	óptima	35,41	<5%	174,30	<5%	900	<5%
V	10	9,65	óptima	7,75	óptima	19,67	óptima	67,81	óptima
	50	2,62	óptima	16,14	5%	83	5%	3	óptima
	100	5,06	óptima	83	óptima	3	óptima	900	óptima
VI	10	10,48	óptima	4,21	5%	16,75	5%	65,54	óptima
	50	2,57	óptima	16,04	5%	84,59	5%	3	5%
	100	4,26	óptima	104,98	óptima	3	óptima	900	óptima
VII	10	2,14	<5%	5,61	óptima	27,15	óptima	110,53	óptima
	50	No factible		41,03	<5%	196,3	<5%	809,85	<5%
	100	7,57	<5%	288,79	óptima	696,51	<5%	Fallo	
VIII	10	4,07	<5%	5,75	óptima	27,29	óptima	108,78	<5%
	50	No factible		3	<5%	197,53	<5%	682,26	óptima
	100	10,04	<5%	127,61	<5%	900	óptima	Fallo	
IX	10	4,98	>10%	5,98	óptima	26,96	<5%	109,25	<5%
	50	No factible		3	<5%	196,87	<5%	798,23	óptima
	100	10,93	<5%	127,48	<5%	900	óptima	Fallo	

Tabla A.56. Experimento hipotético D con ponderación [1,1,1,1,1] donde Ti=tiempo en segundos y As=tipo de asignación.

Ejemplar		Ti	As	Ti	As	Ti	As	Ti	As
Tipología	P	12 H		50 H		100 H		168 H	
I	10	1,40	óptima	3	óptima	11,3	óptima	44,01	óptima
	50	2,15	óptima	13	óptima	51,03	óptima	215,41	óptima
	100	3	óptima	21,46	óptima	101,17	óptima	482	óptima
II	10	2,71	óptima	6,64	óptima	21,29	óptima	83	óptima
	50	3	óptima	60,18	óptima	175,3	óptima	170,12	óptima
	100	7,87	óptima	82,53	óptima	190,76	<10%	655,98	<10%
III	10	2,18	óptima	6,67	óptima	21,25	óptima	83	óptima
	50	3	óptima	60,3	óptima	174,29	óptima	166,21	<5%
	100	7,51	óptima	82,45	óptima	190,28	<10%	63	<10%
IV	10	8,98	óptima	3	<10%	17,06	<5%	65,3	<10%
	50	3	óptima	46,95	<5%	76,77	<5%	3	óptima
	100	5,03	óptima	90,81	<5%	171,48	<5%	780,27	óptima
V	10	10,3	óptima	7,01	óptima	18,3	óptima	62,64	óptima
	50	2,48	óptima	16,04	<5%	83	<10%	3	óptima
	100	5,28	óptima	90,15	óptima	279,41	óptima	900	óptima
VI	10	5,53	óptima	4,70	<5%	16,85	<5%	62,15	óptima
	50	2,5	óptima	15,81	<10%	81,87	10%	3	óptima
	100	6,51	óptima	86,04	óptima	275,3	óptima	900	óptima
VII	10	4,06	<5%	6,25	óptima	26,23	óptima	105,40	óptima
	50	No factible		3	óptima	179,06	óptima	73	<10%
	100	7,3	<10%	271,15	óptima	556,86	<10%	Fallo	
VIII	10	3	<5%	6,3	óptima	26,23	óptima	105,60	óptima
	50	No factible		3	óptima	171,65	10%	643,75	<5%
	100	8,79	<5%	109,20	<5%	469,16	5%	Fallo	
IX	10	1,57	<5%	6,65	óptima	26,64	óptima	102,15	<5%
	50	No factible		3	<5%	163	<5%	715,96	<5%
	100	7,79	<5%	107,23	<5%	53	<5%	Fallo	

Tabla A.57. Experimento hipotético F con ponderación [1,1,1,1,1,1] donde Ti=tiempo en segundos y As=tipo de asignación.

Ejemplar		Ti	As	Ti	As	Ti	As	Ti	As
Tipología	P	12 H		50 H		100 H		168 H	
I	10	1,46	óptima	3	óptima	12,3	óptima	46,71	óptima
	50	2,53	óptima	14,63	óptima	55,30	óptima	229,56	óptima
	100	4,01	óptima	23	óptima	109,56	óptima	542,00	óptima
II	10	2,54	óptima	7,12	óptima	22,57	óptima	87,44	óptima
	50	3	óptima	63	óptima	182,18	óptima	252,63	<10%
	100	8,29	óptima	87,17	óptima	841,43	óptima	632,74	<5%
III	10	1,95	óptima	7,55	óptima	22,69	óptima	87,97	óptima
	50	3	óptima	63	óptima	182,63	óptima	468,14	<5%
	100	8,3	óptima	87,62	óptima	3	<5%	697,26	<5%
IV	10	2,26	óptima	4,375	<5%	28,10	<5%	96,92	óptima
	50	3	óptima	17,68	<5%	84,3	<5%	3	óptima
	100	5,25	óptima	3	<5%	177,69	<5%	941,3	<5%
V	10	9,01	óptima	7,10	óptima	19,3	óptima	67,22	óptima
	50	2,90	óptima	17,06	<5%	85,09	<5%	3	óptima
	100	6,43	óptima	79,10	óptima	284,77	óptima	900	5%
VI	10	6	óptima	5,08	<5%	17,75	5%	68,09	óptima
	50	2,89	óptima	17,05	<5%	84,62	<5%	3	<5%
	100	4,79	óptima	109,3	óptima	3	óptima	900	<5%
VII	10	3,02	<5%	6,90	óptima	28,09	óptima	111,98	óptima
	50	No factible		3	óptima	183	óptima	747	<5%
	100	10,51	<5%	3	óptima	590,79	<5%	Fallo	
VIII	10	1,53	óptima	6,93	óptima	28,02	óptima	111,69	óptima
	50	No factible		31,78	óptima	163,26	óptima	730,09	óptima
	100	6,65	óptima	98,76	óptima	554,69	óptima	Fallo	
IX	10	1,43	óptima	5,32	óptima	25,79	óptima	107,01	óptima
	50	No factible		31,78	óptima	163,26	óptima	730,09	óptima
	100	6,65	óptima	98,76	óptima	554,69	óptima	117,45	<5%

Tabla A.58. Experimento hipotético G con ponderación [1,1,1,1,1] donde Ti=tiempo en segundos y As=tipo de asignación.

Ejemplar		Ti	As	Ti	As	Ti	As	Ti	As
Tipología	P	12 H		50 H		100 H		168 H	
I	10	1,57	óptima	3	óptima	12,20	óptima	45,23	óptima
	50	2,51	óptima	13	óptima	55,48	óptima	223	óptima
	100	3	óptima	22,20	óptima	110,23	óptima	555,71	óptima
II	10	3	óptima	9,79	óptima	3	óptima	155,73	óptima
	50	5,04	óptima	13	óptima	99,73	>10%	474,56	>10%
	100	12	óptima	27,23	>10%	418,91	>10%	694,45	>10%
III	10	2,64	óptima	9,93	óptima	3	óptima	155,73	óptima
	50	5,14	óptima	13	óptima	465,86	>10%	448,75	>10%
	100	12,15	óptima	409,2	<10%	421,69	>10%	887,33	>10%
IV	10	1,67	óptima	5,3	óptima	17,48	óptima	71,16	óptima
	50	4,3	óptima	28,48	óptima	92,62	óptima	3	óptima
	100	5,87	óptima	168,82	óptima	214,55	óptima	804,41	óptima
V	10	3	óptima	5,92	óptima	18,01	óptima	69,04	óptima
	50	3	óptima	24,57	óptima	105,70	óptima	420,51	óptima
	100	6,29	óptima	98,71	óptima	241,59	óptima	900	óptima
VI	10	2,89	óptima	5,86	óptima	17,75	óptima	68,63	óptima
	50	3	óptima	3	óptima	102,48	óptima	410	óptima
	100	6,60	óptima	104,42	óptima	241,49	óptima	900	óptima
VII	10	5,28	<5%	7,78	óptima	28,3	óptima	112,3	<5%
	50	51,3	<5%	42,90	óptima	3	óptima	668,89	<5%
	100	49,64	<5%	429,99	óptima	719,30	óptima	Fallo	
VIII	10	5,30	<5%	8,17	óptima	28,45	óptima	98,72	<5%
	50	51,59	5%	44,02	óptima	3	óptima	685,77	<5%
	100	6,93	> 10%	43	óptima	702,89	óptima	Fallo	
IX	10	7,32	óptima	6,54	óptima	26,54	óptima	109,17	óptima
	50	2,93	óptima	43	óptima	3	óptima	665,28	<5%
	100	4,86	óptima	43	óptima	704,3	óptima	Fallo	

Tabla A.59. Experimento hipotético C con ponderación [1,1,1,1,1] donde Ti=tiempo en segundos y As=tipo de asignación.

Valor H utilizado	Tiempo	Cantidad de iteraciones	Número de Restricciones	Número de variables
10	1,235	378	1986	1136
20	2,484	2289	4026	2146
30	1,922	981	6066	3156
40	2,656	1276	8106	4166
50	3,954	1773	10146	5176
60	5,157	1822	12186	6186
70	7,156	2116	14226	7196
80	9,812	2232	16266	8206
90	12,375	2089	18306	9216
100	16,172	2515	20346	10226
110	21,515	2415	22386	11236
120	26,265	3713	24426	12246
130	32,532	3054	26466	13256
140	40,360	7360	28506	14266
150	47,656	6575	30546	15276
160	58,126	9486	32586	16286
170	71,235	11001	34626	17296
180	81,595	8962	36666	18306
190	93,969	10712	38706	19316
200	108,517	10800	40746	20326
210	124,501	12100	42786	21336
220	144,938	11535	44826	22346
230	166,267	14638	46866	23356
240	182,360	11629	48906	24366
250	205,767	15633	50946	25376
260	244,799	17374	52986	26386
270	269,065	21014	55026	27396
280	292,174	15905	57066	28406
290	320,127	17786	59106	29416
300	354,205	17667	61146	30426

Tabla A.60. Resumen de resultado par el experimento hipotético con aumento del valor H.

casuística				Tiempo	Iteraciones	Resultado	
Tipología	P	ha	H				
I	10	12	50	4	542	óptima	
		50	100	8,76599979	551	óptima	
		100	150	21,5620003	966	óptima	
	50	12	50	16,42	3797	óptima	
		50	100	70,44	2688	óptima	
		100	150	567,79	4201	óptima	
	100	12	50	30,84	3403	óptima	
		50	100	357,80	5216	óptima	
		100	150	Fallo			
II	10	12	50	8,31	3133	óptima	
		50	100	16,84	5272	óptima	
		100	150	40,44	10322	óptima	
	50	12	50	108,23	13610	óptima	
		50	100	261,72	48202	óptima	
		100	150	fallo			
	100	12	50	980,86	169842	factible	
		50	100	Fallo			
		100	150	Fallo			
III	10	12	50	15,54	3505	óptima	
		50	100	19,32	6274	óptima	
		100	150	48,70	16446	óptima	
	50	12	50	65,49	12191	óptima	
		50	100	Fallo			
		100	150	Fallo			
	100	12	50	Fallo			
		50	100	347,73	38358	óptima	
		100	150	Fallo			

Tabla A.61. Resultados de la reasignación para los ejemplos de tipo A del experimento hipotético.

casuística				Tiempo	Iteraciones	Resultado
Tipología	P	ha	H			
I	10	12	50	4,06	531	óptimo
		50	100	8,55	420	óptimo
		100	150	20,05	1103	óptimo
	50	12	50	16,95	7990	óptimo
		50	100	74,77	3092	óptimo
		100	150	532,14	8096	óptimo
	100	12	50	33,66	7089	óptimo
		50	100	349,51	5860	óptimo
		100	150	Fallo		
II	10	12	50	18,42	2240	óptimo
		50	100	14,67	4000	óptimo
		100	150	35,52	6430	óptimo
	50	12	50	65,58	10037	óptimo
		50	100	215,02	19195	óptimo
		100	150	Fallo		
	100	12	50	86,98	15433	óptimo
		50	100	Fallo		
		100	150	Fallo		
III	10	12	50	6,08	1595	óptimo
		50	100	14,11	3003	óptimo
		100	150	31,84	5344	óptimo
	50	12	50	58,31	9401	óptimo
		50	100	198,38	18141	óptimo
		100	150	1485,62	206111	factible
	100	12	50	93,60	17298	óptimo
		50	100	549,03	28044	óptimo
		100	150	Fallo		

Tabla A.62. Resultados de la reasignación para los ejemplos de tipo E del experimento hipotético.

casuística				Tiempo	Iteraciones	Resultado
Tipología	P	ha	H			
I	10	12	50	3,86	531	óptimo
		50	100	8,66	453	óptimo
		100	150	19,70	1158	óptimo
	50	12	50	16,70	6821	óptimo
		50	100	88,23	1847	óptimo
		100	150	495,93	7217	óptimo
	100	12	50	35,10	6534	óptimo
		50	100	369,12	5670	óptimo
		100	150	Fallo		
II	10	12	50	18,19	1599	óptimo
		50	100	13,86	3398	óptimo
		100	150	32,47	4769	óptimo
	50	12	50	68,01	12479	óptimo
		50	100	240,01	19227	óptimo
		100	150	Fallo		
	100	12	50	92,42	14195	óptimo
		50	100	Fallo		
		100	150	Fallo		
III	10	12	50	16,79	2979	óptimo
		50	100	13,23	2023	óptimo
		100	150			
	50	12	50	64,03	7878	óptimo
		50	100	187,56	13126	óptimo
		100	150	901,10	89429	óptimo
	100	12	50	86,76	14013	óptimo
		50	100	618,30	30416	óptimo
		100	150	Fallo		

Tabla A.63. Resultados de la reasignación para los ejemplos de tipo G del experimento hipotético.

Casuística				Tiempo	Iteraciones	Resultado	
Tipología	P	ha	H				
I	10	12	50	3,59	391	óptimo	
		50	100	8,31	518	óptimo	
		100	150	21,37	626	óptimo	
	50	12	50	14,34	3134	óptimo	
		50	100	75,69	1725	óptimo	
		100	150	561,88	2917	óptimo	
	100	12	50	30,46	2501	óptimo	
		50	100	391,30	2049	óptimo	
		100	150	Fallo			
II	10	12	50	7,31	2952	óptimo	
		50	100	15,45	5187	óptimo	
		100	150	38,46	9195	óptimo	
	50	12	50	126,08	18747	óptimo	
		50	100	387,76	87633	óptimo	
		100	150	1419,22	206832	óptimo	
	100	12	50	978,11	177625	factible	
		50	100	713,39	42983	óptimo	
		100	150	Fallo			
III	10	12	50	8,26	2867	óptimo	
		50	100	18,51	4859	óptimo	
		100	150	42,34	12013	óptimo	
	50	12	50	105,28	15073	óptimo	
		50	100	1006,28	276689	factible	
		100	150	Fallo			
	100	12	50	981,64	178824	óptimo	
		50	100	Fallo			
		100	150	Fallo			

Tabla A.64. Resultados de la reasignación para los ejemplos de tipo B del experimento hipotético.

casuística			Tiempo (seg.)	Iteraciones	casuística			Tiempo (seg.)	Iteraciones
Tipología	P	H			Tipología	P	H		
I	10	30	2,60	270	I	50	30	7,59	756
		40	2,93	376			40	9,83	2056
		50	3,48	668			50	13,69	4435
		60	4,09	1019			60	21,58	8626
		70	4,78	1092			70	28,70	11138
		80	5,81	1872			80	50,77	15327
		90	6,95	2612			90	49,99	4213
		100	7,78	2248			100	69,52	5408
		110	8,93	2585			110	121,78	5093
		120	10,32	2791			120	184,24	6312
		130	12,85	4850			130	286,50	8310
		140	10,63	3284			140	408,33	8509
		150	16,32	4974			150	401,44	10951
		IV	10	30			11,59	315	IV
40	3,52			506	40	11,95	2266		
50	4,45			814	50	17,49	2474		
60	5,14			1672	60	23,19	3268		
70	6,45			2692	70	37,56	3760		
80	7,86			2459	80	107,56	5002		
90	9,25			2867	90	120,58	5625		
100	10,98			3135	100	221,16	8349		
110	16,28			4094	110	No se encontró solución			
120	14,80			2501	120	No se encontró solución			
130	18,52			4517	130	No se encontró solución			
140	26,47			5823	140	No se encontró solución			
150	23,83			4531	150	No se encontró solución			
VII	10			30	No factible		VII	50	
		40	4,61	2222	40	No factible			
		50	6,20	2057	50	64,88			21662
		60	7,34	2318	60	103,16			22890
		70	10,28	2978	70	173,89			28160
		80	20,94	2749	80	317,87			34432
		90	14,72	2631	90	494,19			35903
		100	19,95	4408	100	775,54			34406
		110	26,83	5817	110	No se encontró solución			
		120	36,00	6689	120	No se encontró solución			
		130	45,99	6660	130	No se encontró solución			
		140	57,61	8769	140	No se encontró solución			
		150	86,58	9190	150	No se encontró solución			

Tabla A.65. Resultados del experimento de concatenación realizado al caso hipotético

A.II. ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Ventajas del uso de la flexibilidad laboral interna.....	11
Tabla 4.1 Resumen de los trabajos realizados sobre asignación de tareas	38
Tabla 4.2. Clasificación de los antecedentes de asignación de tareas	40
Tabla 5.1 Clasificación de características	48
Tabla 5.2 Identificación de las características propias de los antecedentes relevantes sobre asignación de tareas.....	51
Tabla 5.3 Identificación de los criterios de evaluación utilizados en los antecedentes	57
Tabla 7.1 Identificación de los modelos	66
Tabla 7.2 Equivalencia de las variables de reasignación y concatenación con las variables de asignación.....	82
Tabla 7.3 Restricciones para reasignación y concatenación	83
Tabla 7.4 Funciones objetivo y restricciones que involucra cada uno de los modelos propuestos	114
Tabla 8.1 Indica los ejemplares en que no dispone de la capacidad mínima necesaria.....	125
Tabla 8.2 Listado de características excluidas	126
Tabla 8.3 Tipología del caso	127
Tabla 8.4 Cantidad de personal por categoría para $P=25$	127
Tabla 8.5 Cantidad de personal por categoría para $P=50$	128
Tabla 8.6 Cantidad de personal por categoría para $P=100$	128
Tabla 8.7 Cantidad de personal por categoría para $P=150$	128
Tabla 8.8 Rendimiento del personal para tipología X	128
Tabla 8.9 Rendimiento del personal para tipología XI.....	128
Tabla 8.10 Rendimiento del personal para tipología XIII.....	128
Tabla 8.11 Rendimiento del personal para tipología XII	129
Tabla 8.12 Rendimiento del personal para tipología XIV	129
Tabla 8.13 Rendimiento del personal para tipología XV	129
Tabla 8.14 Preferencia del personal para tipología X	129
Tabla 8.15 Preferencia del personal para tipología XI	129
Tabla 8.16 Preferencia del personal para tipología XIII	129
Tabla 8.17 Preferencia del personal para tipología XII.....	130
Tabla 8.18 Preferencia del personal para tipología XIV	130
Tabla 8.19 Preferencia del personal para tipología XV.....	130
Tabla 8.20 Valores de ponderación de función objetivo	130
Tabla 8.21 Clasificación de las soluciones acorde a la ponderación aplicada a los criterios	132
Tabla 8.22 Clasificación de las soluciones acorde al tipo de tipología	133
Tabla 8.23 Clasificación de las soluciones acorde a la tipología y cantidad de personal	134

Tabla 8.24 Clasificación de las soluciones acorde a la cantidad de personal.....	134
Tabla 8.25 Listado de características consideradas fijas.....	143
Tabla 8.26 Listado de características variables	144
Tabla 8.27 Tipología de ejemplar	145
Tabla 8.27a. Demanda para el caso de disponibilidad exacta	145
Tabla 8.27b. Demanda para el caso de disponibilidad aproximada	145
Tabla 8.28 Cantidad de personal de cada categoría para $P=10$	146
Tabla 8.29 Cantidad de personal de cada categoría para $P=50$	146
Tabla 8.30 Cantidad de personal de cada categoría para $P=100$	146
Tabla 8.31 Prioridad del uso del personal	147
Tabla 8.32 Preferencia del personal para tipología I	148
Tabla 8.33 Preferencia del personal para tipología II	148
Tabla 8.34 Preferencia del personal para tipología III	148
Tabla 8.35 Preferencia del personal para tipología IV	148
Tabla 8.36 Preferencia del personal para tipología V.....	148
Tabla 8.37 Preferencia del personal para tipología VI.....	148
Tabla 8.38 Preferencia del personal para tipología VII.....	148
Tabla 8.39 Preferencia del personal para tipología VIII.....	148
Tabla 8.40 Preferencia del personal para tipología IX	148
Tabla 8.41 Preferencia de la organización en la satisfacción de las tareas para las diferentes tipologías	148
Tabla 8.42 Bloques de trabajo en las tareas para los diferentes casos	149
Tabla 8.43 Rangos de trabajo en las tareas para los diferentes casos	149
Tabla 8.44 Proporción de intervalos para tipología I	150
Tabla 8.45 Proporción de intervalos para tipología II	150
Tabla 8.46 Proporción de intervalos para tipología III	150
Tabla 8.47 Proporción de intervalos para tipología IV	150
Tabla 8.48 Proporción de intervalos para tipología V	150
Tabla 8.49 Proporción de intervalos para tipología VI	150
Tabla 8.50 Proporción de intervalos para tipología VII	150
Tabla 8.51 Proporción de intervalos para tipología VIII.....	150
Tabla 8.52 Proporción de intervalos para tipología IX	150
Tabla 8.53 Valores de ponderación de los criterios de la función objetivo	151
Tabla 8.54 Problemas experimentados de asignación por rango, identificados por la nomenclatura de sus características. Se destaca en negrita las características que se alternan	151
Tabla 8.55 Problemas experimentados de asignación por bloque identificados por la nomenclatura de sus características	155
Tabla 8.56 Proporción de tipo de resultados obtenidos, considerando los 84 ejemplares de cada tipología experimentados en esta casuística de asignación por bloque experimentados	157
Tabla 8.57 Presentan los datos del caso de tamaño máximo, para el que obtuvo el óptimo en cada uno de los tipos de problemas experimentados	158

Tabla 8.58 Dato de intervalo donde se lleva a cabo la reasignación para cada H específico.....	167
Tabla 8.59 Porcentaje de ejemplares en que se pudo lograr la reasignación óptima para la reasignación experimentada	168
Tabla 8.60 Datos de los ejemplares experimentados con concatenación de horizontes, donde se tiene un horizonte de asignación de 100 intervalos	169
Tabla 8.61 Datos de los ejemplares experimentados con concatenación de horizonte, donde se tiene un horizonte de asignación de 200 intervalos	170
Tabla 8.62 Tiempo requerido para llegar a la asignación óptima considerando el mismo horizonte de asignación como un caso de asignación y concatenación	171
Tabla A.1 Categorías del personal con $P=25$ para los casos $C=[2,3,4]$ del experimento I	A1
Tabla A.2 Categorías del personal con $P=50$ para los casos con $C=[2,3,4]$ del experimento I	A2
Tabla A.3 Categorías del personal con $P=100$ para los casos con $C=[2,3,4]$ del experimento I	A3
Tabla A.4 Categorías del personal con $P=150$ para los casos con $C=[2,3,4]$ del experimento I	A4
Tabla A.5 Demanda de capacidad mínima para $P=25$ y $T=2$. Experimento I	A5
Tabla A.6 Demanda de capacidad ideal para $P=25$ y $T=2$. Experimento I	A6
Tabla A.7 Demanda de capacidad mínima para $P=50$ y $T=2$. Experimento I	A7
Tabla A.8 Demanda de capacidad ideal para $P=50$ y $T=2$. Experimento I	A8
Tabla A.9 Demanda de capacidad mínima para $P=100$ y $T=2$. Experimento I	A9
Tabla A.10 Demanda de capacidad ideal para $P=100$ y $T=2$. Experimento I	A10
Tabla A.11 Demanda de capacidad mínima para $P=150$ y $T=2$. Experimento I ...	A11
Tabla A.12 Demanda de capacidad ideal para $P=150$ y $T=2$. Experimento I	A12
Tabla A.13 Demanda de capacidad mínima para $P=25$ y $T=3$. Experimento I	A13
Tabla A.14 Demanda de capacidad ideal para $P=25$ y $T=3$. Experimento I	A14
Tabla A.15 Demanda de capacidad mínima para $P=50$ y $T=3$. Experimento I	A15
Tabla A.16 Demanda de capacidad ideal para $P=50$ y $T=3$. Experimento I	A16
Tabla A.17 Demanda de capacidad mínima para $P=100$ y $T=3$. Experimento I ...	A17
Tabla A.18 Demanda de capacidad ideal para $P=100$ y $T=3$. Experimento I	A18
Tabla A.19 Demanda de capacidad mínima para $P=150$ y $T=3$. Experimento I ...	A19
Tabla A.20 Demanda de capacidad ideal para $P=150$ y $T=3$. Experimento I	A20
Tabla A.21 Demanda de capacidad mínima para $P=25$ y $T=4$. Experimento I	A21
Tabla A.22 Demanda de capacidad ideal para $P=25$ y $T=4$. Experimento I	A22
Tabla A.23 Demanda de capacidad mínima para $P=50$ y $T=4$. Experimento I	A23
Tabla A.24 Demanda de capacidad ideal para $P=50$ y $T=4$. Experimento I	A24
Tabla A.25 Demanda de capacidad mínima para $P=100$ y $T=4$. Experimento I ...	A25
Tabla A.26 Demanda de capacidad ideal para $P=100$ y $T=4$. Experimento I	A26

Tabla A.27 Demanda de capacidad mínima para $P=150$ y $T=4$. Experimento I ...	A27
Tabla A.28 Demanda de capacidad ideal para $P=150$ y $T=4$. Experimento I	A28
Tabla A.29 Presencia de personal para $P=25$ del experimento I.....	A29
Tabla A.30 Presencia de personal para $P=50$ del experimento I.(PARTE I).....	A30
Tabla A.31 Presencia de personal para $P=50$ del experimento I. (PARTE II).....	A31
Tabla A.32 Presencia de personal para $P=100$ del experimento I.(PARTE I).....	A32
Tabla A.33 Presencia de personal para $P=100$ del experimento I.(PARTE II).....	A33
Tabla A.34 Presencia de personal para $P=100$ del experimento I.(PARTE III).....	A34
Tabla A.35 Presencia de personal para $P=100$ del experimento I.(PARTE IV).....	A35
Tabla A.36 Presencia de personal para $P=150$ del experimento I.(PARTE I).....	A36
Tabla A.37 Presencia de personal para $P=150$ del experimento I (PARTE II).....	A37
Tabla A.38 Presencia de personal para $P=150$ del experimento I.(PARTE III).....	A38
Tabla A.39 Presencia de personal para $P=150$ del experimento I.(PARTE IV).....	A39
Tabla A.40 Presencia de personal para $P=150$ del experimento I.(PARTE V).....	A40
Tabla A.41 Presencia de personal para $P=150$ del experimento I.(PARTE VI).....	A41
Tabla A.42 Resultados de la experimentación I (caso real) con un horizonte de 90, y ponderación de la función= $[1,1,1,1]$	A42
Tabla A.43 Resultados de la experimentación I (caso real) con un horizonte de 90, y ponderación de la función= $[10,1,0,1]$	A43
Tabla A.44 Resultados de la experimentación I (caso real) con un horizonte de 90, y ponderación de la función= $[0,1,10,1]$	A44
Tabla A.45 Resultados de la experimentación I (caso real) con un horizonte de 90, y ponderación de la función= $[1,10,1,1]$	A45
Tabla A.46 Resultados de la experimentación I (caso real) con un horizonte de 90, y ponderación de la función= $[100,1,0,1]$	A46
Tabla A.47 Resultados de la experimentación I (caso real) con un horizonte de 90, y ponderación de la función= $[0,1,100,1]$	A47
Tabla A.48 Resultados de la experimentación I (caso real) con un horizonte de 90, y ponderación de la función= $[10,1,1,1]$	A48
Tabla A.49 Resultados de la experimentación I (caso real) con un horizonte de 90, y ponderación de la función= $[1,1,10,1]$	A49
Tabla A.50 Resultados de la experimentación I (caso real) con un horizonte de 90, y ponderación de la función= $[1,1,100,1]$	A50
Tabla A.51 Resultados de la experimentación I (caso real) con un horizonte de 90, y ponderación de la función= $[1,1,1,10]$	A51
Tabla A.52 Resultados de la experimentación I (caso real) con un horizonte de 90, y ponderación de la función= $[100,1,1,1]$	A52
Tabla A.53 Experimento hipotético A con ponderación $[1, 1, 1, 1, 1, 1]$, donde T_i =tiempo en segundos y A_s =tipo de asignación obtenida	A53
Tabla A.54 Experimento hipotético E con ponderación $[1, 1, 1, 1, 1, 1]$, donde T_i =tiempo en segundos y A_s =tipo de asignación obtenida	A54
Tabla A.55 Experimento hipotético B con ponderación $[1, 1, 1, 1, 1, 1]$, donde T_i =tiempo en segundos y A_s =tipo de asignación obtenida	A55

Tabla A.56 Experimento hipotético D con ponderación [1, 1, 1, 1, 1, 1], donde Ti=tiempo en segundos y As=tipo de asignación obtenida	A56
Tabla A.57 Experimento hipotético F con ponderación [1, 1, 1, 1, 1, 1], donde Ti=tiempo en segundos y As=tipo de asignación obtenida	A57
Tabla A.58 Experimento hipotético G con ponderación [1, 1, 1, 1, 1, 1], donde Ti=tiempo en segundos y As=tipo de asignación obtenida	A58
Tabla A.59 Experimento hipotético C con ponderación [1, 1, 1, 1, 1, 1], donde Ti=tiempo en segundos y As=tipo de asignación obtenida	A59
Tabla A.60 Resumen de resultados para el experimento hipotético con aumento del valor H	A60
Tabla A.61 Resultados de la reasignación para los ejemplos tipo A del experimento hipotético	A61
Tabla A.62 Resultados de la reasignación para los ejemplos tipo E del experimento hipotético	A62
Tabla A.63 Resultados de la reasignación para los ejemplos tipo G del experimento hipotético	A63
Tabla A.64 Resultados de la reasignación para los ejemplos tipo B del experimento hipotético	A64
Tabla A.65 Resultados del experimento de concatenación realizado al caso hipotético	A65

A.III. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.1 Diagrama de método jerárquico para la organización de trabajo (OTT), basado en propuesta de Corominas y Pastor, 2000.....	33
Figura 5.1 Criterios de evaluación	56
Figura 6.1 Características de asignación consideradas en la metodología propuesta	62
Figura 8.1 Gráfica de iteraciones realizadas para lograr la asignación óptima de los diferentes casos de la casuística con tres diferentes ponderaciones de la función objetivo	135
Figura 8.2 Gráfica de iteraciones realizadas para lograr la asignación óptima para los ejemplares XI al XV con ponderación [1,1,1,1] para función objetivo	135
Figura 8.3 Gráfica de iteraciones realizadas para encontrar asignación óptima para los ejemplares X al XIV con ponderación [1,1,1,1] para función objetivo	136
Figura 8.4 Gráfica de relación tiempo-iteraciones para lograr la asignación óptima para la tipología X con las diferentes ponderaciones de la función objetivo	137
Figura 8.5 Gráfica de relación tiempo-iteraciones para lograr asignación óptima para los casos de tipología X al XV con ponderación [1,1,1,1] para función objetivo	137
Figura 8.6 Diferencia de la capacidad asignada respecto a la capacidad deseada para la combinación $[H, P, T, C]=[90, 150, 4, 4]$ con una ponderación [1,1,1,1] en la función objetivo	138
Figura 8.7 Diferencia de la capacidad asignada respecto a la capacidad mínima deseada para la combinación $[H, P, T, C]= [90, 150, 4, 4]$ con una ponderación [1, 1, 1, 1] en la función objetivo	139
Figura 8.8 Diferencia de la capacidad asignada respecto a la capacidad deseada para la combinación $[H, P, T, C]=[90, 150, 4, 4]$ con una ponderación [1, 1, 100, 0] en la función objetivo	139
Figura 8.9 Diferencia de la capacidad asignada respecto a la capacidad mínima deseada para la combinación $[H, P, T, C]= [90, 150, 4, 4]$ con una ponderación [1, 1, 100, 0] en la función objetivo	140
Figura 8.10 Diferencia de la capacidad asignada respecto a al capacidad deseada para la combinación $[H, P, T, C]= [90, 150, 4, 4]$ con una ponderación [1, 1, 0, 100] en la función objetivo	140
Figura 8.11 Diferencia de la capacidad asignada respecto a la capacidad mínima deseada para la combinación $[H, P, T, C]= [90, 150, 4, 4]$ con una ponderación [1, 1, 0, 100] en la función objetivo	141
Figura 8.12 Proporción de tipo de resultados obtenidos, considerando 756 casos de asignación por rango experimentados	153

Figura 8.13 Gráfico que muestra las diferencias del número de iteraciones para llegar al óptimo del caso con $C=2$, $T=2$, $H=[12, 50, 100, 168]$ y $P=[10, 50, 100]$. Tratado como un problema tipo A (capacidad exacta) e I (capacidad aproximada)	154
Figura 8.14 Gráfico de tiempo requerido para llegar al óptimo, del caso $C=2$, $T=2$, $H=[12, 50, 100, 168]$ y $P=[10, 50, 100]$. Tratados como los diferentes tipos de problemas.....	155
Figura 8.15 Proporción de tipo de resultados obtenidos, considerando 756 casos de asignación por bloque experimentados	156
Figura 8.16 Gráfico de tiempos para lograr el óptimo de los casos de tipología VII con una $H=50$ y $P=[10, 50, 100]$ en los diferentes tipos de problemas	158
Figura 8.17 Comparación de los resultados obtenidos considerando dos valores para bloque $[1, 2]$. El problema es de tipo A1, con tipología $[I, II, III]$ $H=[12, 50, 100, 168]$, $P=[10, 50, 100]$	159
Figura 8.18 Gráfico que representa el tiempo consumido para lograr la asignación óptima, para el problema de tipo A1 con tipología $[I, II, III]$, $H=[12, 50, 100, 168]$, $P=[10, 50, 100]$, bloque= $[1, 2]$	160
Figura 8.19 Comparación de los resultados obtenidos considerando los problemas de tipo C y C1 con las diferentes tipologías, $H=[12, 50, 100, 168]$ y $P=[10, 50, 100]$	161
Figura 8.20 Indica para los tipos de problemas C y C1 la tarea asignada a una persona en cada intervalo de tiempo con $T=2$, $H=2$	162
Figura 8.21 Gráfico que representa el tiempo requerido para encontrar la asignación óptima acorde al valor de H , experimentados en el ejemplar de tipología VI	163
Figura 8.22 Gráfico que representa el número de iteraciones realizadas para llegar a la asignación óptima acorde al valor de H , experimentado en el ejemplar de tipología VI	164
Figura 8.23 Gráfico que representa el tiempo consumido para llevar a cabo las iteraciones necesarias para lograr la asignación óptima de los diferentes experimentos del ejemplar de tipología VI	164
Figura 8.24 Gráfico de valor objetivo para casos de tipología I (2T, 2C) con $P=100$ y $H=[10...150]$ con personal de tipo incompatible y compatible	166
Figura 8.25 Gráfico de tiempo consumido para lograr la asignación óptima de casos de tipología I (2T, 2C) con $P=100$ y $H=[10...150]$ con personal de tipo incompatible y compatible	166
Figura 8.26 Gráfico de cantidad de iteraciones realizadas para lograr la asignación óptima de casos de tipología I (2T, 2C) con $P=100$ y $H=[10...150]$ con personal de tipo incompatible y compatible	167
Figura 8.27 Gráfico de tiempo necesario para lograr la reasignación óptima para los cuatro tipos de problemas (A, B, D y F) con un valor $H=50$ y	

<i>ha</i> =12	168
Figura 8.28 Gráfico que muestra el número de iteraciones realizadas para llegar al óptimo para un horizonte de asignación determinado [30...150] realizado por asignación y concatenación	172