



MINISTERIO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA
DIRECCION GENERAL DE INVESTIGACION

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN
Y DESARROLLO TECNOLÓGICO**

INFORME FINAL

Investigador Principal:	Narcís Nabona Francisco
Título del Proyecto:	Planificación óptima de gran dimensión de la producción hidrotérmica de energía eléctrica
Organismo:	Universitat Politècnica de Catalunya
Centro:	Facultat de Matemàtiques i Estadística
Departamento:	Departamento de Estadística e Investigación Operativa
Fecha de Inicio:	1 de enero de 2000
Fecha de Finalización:	31 de diciembre de 2002

Fecha: 28 de marzo de 2003

Conforme el
Representante Legal
del Organismo:

El Investigador Principal:

Fdo:

Fdo: Narcís Nabona

A. MEMORIA. Resumen de los resultados del proyecto en relación con los objetivos propuestos (máximo 2000 palabras).

Destaque su relevancia científica y/o su interés tecnológico.

En el caso de haber obtenido resultados no previstos inicialmente, indique su relevancia para el proyecto.

En caso de resultados fallidos, indíquense las causas.

En relación a la coordinación hidro-térmica a corto plazo.

Los objetivos que se plantearon y que han sido alcanzados dentro del presente proyecto, en lo que respecta a la Coordinación Hidro-Térmica a Corto Plazo son:

- “*Obtención de un Modelo Acoplado de Coordinación Hidro-Térmica a corto Plazo (MACH) que permita respresentar el sistema nacional de producción de energía eléctrica a intervalos horarios, como mínimo en un periodo de dos días, que incluya: red de transmisión; diferentes niveles de tensión; múltiples barras de generación hidráulica; restricciones que permitan coordinar la solución de corto plazo con la obtenida a largo plazo*”. Este objetivo alcanzado plenamente
- “*Resolución eficiente del MACH: desarrollo de métodos especializados de flujos no lineales con restricciones lineales; desarrollo de técnicas de optimización dual basadas en la relajación Lagrangiana*”. Esta ha sido uno de los campos en los que se han obtenido unos resultados más espectaculares, especialmente en el desarrollo de nuevas técnicas de optimización dual (*Radar Subgradient Method* y *Radar Multiplier Method*) que permiten resolver eficientemente problemas MACH de grandes dimensiones.
- “*Formulación de un modelo de mercado que, basándose en el MACH, incorpore la subasta de energía*”: esta parte del proyecto ha sufrido retrasos debido básicamente a la dificultad en obtener datos sobre las compañías del sector eléctrico, a menudo confidenciales, que permitan validar los modelos de mercado.

Los principales resultados obtenidos en la línea de la resolución del MACH mediante métodos duales se han desarrollado dentro del trabajo de tesis doctoral del Dr. César Beltrán Royo “*Generalized Unit Commitment by the radar multiplier method*”, dirigida por el Dr. F. Javier Heredia, trabajos relacionados con el estudio de diferentes métodos de descomposición de los subproblemas Lagrangianos y de nuevas técnicas de actualización del vector de variables duales. Asimismo se ha elaborado un modelo y procedimiento de programación entera mixta para resolver la coordinación hidro-térmica a corto plazo.

En la línea de la resolución de los subproblemas de flujos no lineales en red con restricciones laterales no lineales que aparecen en la aplicación de la relajación Lagrangiana al MACH, se han realizado mejoras en la implementación del código de Lagrangianos proyectados. Se ha estudiado la aplicabilidad de los métodos de subgradiente y se han desarrollado subrutinas que permiten resolverlo. La realización de experimentos numéricos han permitido observar la superioridad del método propuesto respecto del método de multiplicadores de Estéense y Powell.

En relación a la aplicación de métodos de multiplicadores para planificación hidrotérmica a corto plazo

A fin de resolver con la mayor eficiencia posible problemas reales de gran tamaño, donde debe minimizarse una función no lineal con restricciones no lineales y restricciones lineales que incluyen las ecuaciones de conservación de flujo de una red capacitada, se ha minimizado secuencialmente una función Lagrangiana aumentada, que incluye a las restricciones que no son de red (laterales), sujeta a las restricciones de la red. Las sucesivas minimizaciones han sido realizadas usando las

técnicas de Murtagh-Saunders, habiendo sido necesario estimar los multiplicadores de las restricciones laterales. Para ello se han utilizado métodos de multiplicadores en los que se combinan estimaciones de primer orden y de orden superlineal basados en técnicas quasi-Newton. Como alternativa para el caso en que el número de variables libres es muy alto se han utilizado métodos BFGS de memoria limitada para realizar la estimación de orden superlineal de multiplicadores. La implementación de estos métodos ha dado lugar al código PFNRN04.

Se han comparado las eficiencias de los algoritmos basados en estos métodos con las de otros basados en métodos de punto interior o en programación cuadrática secuencial. Los resultados de dichas comparaciones certifican una mayor robustez de los métodos propuestos en comparación con los métodos de punto interior al aplicarlos a este tipo de problemas, así como una mayor eficiencia que los métodos basados en programación cuadrática secuencial considerados.

En relación a la aplicación de métodos de optimización global para planificación hidrotérmica a corto plazo

El objetivo general consistía en estudiar la aplicabilidad de los procedimientos de optimización global (OG), desde un punto de vista determinista, a problemas de coordinación de la generación hidroeléctrica a corto término y la comparación de los resultados obtenidos con relación a los procedimientos clásicos de optimización (que utilizan técnicas estándar de optimización local).

El primer paso ha consistido en transformar el problema de coordinación en un problema equivalente con una estructura reverse convexa. Para lo cual es necesario poder expresar un polinomio en diferencia de polinomios convexos (representación d.c.). Para ello hemos descrito un procedimiento general que permite obtener tal descomposición (A. Ferrer, Representation of a polynomial function as a difference of convex polynomials, with an application, Lectures Notes in Economics and Mathematical Systems, Vol. 502, pp. 189-207)

Disponer de una representación d.c. de los polinomios de nuestro problema nos ha permitido describir, mediante el uso de subdivisiones prismáticas, un algoritmo que combina esta técnica de subdivisión con técnicas de aproximación exterior. Este algoritmo está inspirado en un algoritmo descrito por Huang Tuy (Convex analysis and global optimization, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1998) el cual usa subdivisiones cónicas en lugar de subdivisiones prismáticas y requiere, mediante la resolución de un programa convexo, la determinación inicial de un punto a partir del cual estas subdivisiones cónicas puedan ser realizadas. En nuestro algoritmo este paso inicial puede ser obviado.

Las limitaciones de la aplicación de los procedimientos de OG a la Coordinación hidroeléctrica provienen de las limitaciones propias de los algoritmos de OG en su estado actual. Estas limitaciones tienen un doble origen. Por un lado, la representación d.c. de las funciones afecta al proceso de subdivisión empleado por el algoritmo y ello tiene un efecto directo sobre la eficiencia del mismo (respecto del número de iteraciones realizadas). Por otro lado, el diseño del propio algoritmo limita la dimensión de los problemas que pueden ser resueltos (alrededor de treinta variables). Estas últimas limitaciones son de mayor alcance y para resolverlas necesitamos situarnos en una perspectiva diferente que permita desarrollar algoritmos alternativos (quizá, totalmente diferentes a los actuales). Este proyecto no trata de estos nuevos algoritmos (los cuales tienen que formar parte de un proyecto con otro tipo de objetivos).

Mediante el uso adecuado de conceptos ya descritos teóricamente (pero no utilizados en la práctica) hemos mejorado la eficiencia computacional de nuestro algoritmo dentro de las limitaciones acerca de la dimensión ya indicadas. Para ello hemos utilizado el concepto de Least Deviation Decomposition (LDD) descrito por Luc D.T., Martínez-Legaz J.E. y Seeger A. (Least deviation decomposition with respect to a pair of convex sets, Journal of Convex Analysis, 1999, Vol. 6 (1), pp. 115-140). Todo lo anteriormente mencionado nos ha llevado primero a definir que entendemos por una representación d.c. óptima de un polinomio y después a plantear un problema de optimización con una función objetivo cuadrática y convexa sobre un conjunto de restricciones lineales dependiendo de un conjunto infinito cierto de parámetros (lo cual hace que el conjunto de restricciones sea infinito). Para resolverlo hemos implementado un algoritmo de programación semi-infinita basándonos en los algoritmos descritos, para una función objetivo lineal, por Kaliski J., Haglin D., Roos C. y Terlaky T. (Logarithmic barrier decomposition methods for semi-infinite programming, Int. Trans. Oper. Res., 1997, Vol. 4(4), pp. 285-303) y por Zhi-Quan L., Roos C. y Terlaky T. (Complexity analysis of logarithmic barrier decomposition methods for semi-infinite linear programming, Applied Numerical Mathematics, 1999, Vol. 29, pp. 379-394).

Respecto a la aplicación de métodos de punto interior

Se ha terminado de desarrollar el procedimiento *naive* de punto interior con restricciones no lineales apropiado para problemas de planificación hidrotérmica a corto plazo (de hasta unas 14000 variables). Se ha comparado con un método de punto interior parecido presentado por Vanderbei y Shanno, que hemos también desarrollado, encontrando que el procedimiento *naive* es generalmente tan confiable como el de Vanderbei y Shanno, y es siempre más rápido. Ambos trabajos han constituido la base principal de la tesis de D. A. Ramos (leída en junio de 2001).

También se ha desarrollado un modelo, usando el modelizador *AMPL*, de la planificación hidrotérmica resuelta y se han elaborado en formato *AMPL* los datos de todos los casos resueltos. Con esto se ha podido comparar la actuación de nuestro código con los paquetes *Minos* y, a través del servidor *NEOS*, con los paquetes de punto interior *LOQO* de Vanderbei y Shanno y *Nitro* de Byrd, Hribar y Nocedal. El resultado de estas comparaciones está recogido en el trabajo de Nabona y Ramos presentado en la 20th IFIP TC7 Conference de Trier en Julio de 2001.

Aplicación de la programación semidefinida a la coordinación hidrotérmica a corto plazo.

La marcha de D. Francesc Rossell, estudiante de doctorado, a trabajar en la industria, ha provocado que se abandonara la vía de la aplicación de programación semidefinida a la coordinación hidrotérmica a corto plazo. La preparación acumulada por esta persona (que incluía una estancia de tres meses en la University of Waterloo, Canada, especializándose en programación semidefinida) no se podía repetir en otros miembros del grupo.

Coordinación hidro-térmica a largo plazo.

Se ha estado trabajando en la versión lineal (generación hidráulica linealizada) de la coordinación a largo plazo usando el método de Bloom y Gallant multi-intervalo, a partir de la versión puramente térmica ya disponible. Se ha desarrollado una rutina de representación gráfica de monótonas de carga y monótonas de generación de acuerdo con los resultados del método de Bloom y Gallant multi-intervalo, y se ha desarrollado una rutina para definir un punto inicial factible hidrotérmico con el que iniciar un procedimiento de Bloom y Gallant hidrotérmico multi-intervalo.

Asimismo se han comparado mediante el lenguaje modelizador *AMPL* los modelos de generación hidráulica simplificada y de generación hidáulica detallada, encontrando que, respecto a la generación térmica, los resultados eran muy parecidos.

Ha habido un hecho a lo largo del Proyecto que han forzado un cierto cambio de trayectoria. Apareció un trabajo (de Pérez-Ruiz y Conejo) que resolvía de forma eficiente por el procedimiento de generación de columnas de Dantzig-Wolfe un problema similar al resuelto en nuestro trabajo por un método de restricciones activas (el cual esta siendo extendido a generación hidráulica). No queda claro a partir de los resultados presentados cual de los dos métodos puede ser más ventajoso para la coordinación sólo térmica a largo plazo. Se creyó conveniente proceder a una comparación de ambos procedimientos desarrollando también el método de generación de columnas, pero en la variante de Ford-Fulkerson, y posponiendo, sin dejar de pretender desarrollarla, la extensión a hidrogenación de nuestro procedimiento.

Asimismo, de las conversaciones con los EPO, se vió la conveniencia de replantear el problema de largo plazo a resolver, tratando de maximizar el beneficio (en un mercado competitivo) en vez de minimizar costes. Se ha desarrollado un nuevo modelo, que resulta ser cuadrático de la función de beneficio (remuneración de la generación menos costes) y se ha conseguido, en primer lugar, probar que el modelo es viable con varios casos reales de distinto tamaño resueltos mediante el modelizador *AMPL* y la programación cuadrática del resolutor *Cplex*, y luego mediante nuestro código por el procedimiento de generación de columnas de Ford-Fulkerson.

Se han ensayado rutinas de tratamiento de las variables hidráulicas (volúmenes embalsados y descargas) que proporcionan una aproximación lineal multiartículo de la generación hidráulica esperada, y se decidió considerar sólo las descargas como variable. Se han elaborado las rutinas de incorporación en la base (del procedimiento de conjunto activo por intercambio de filas) de las restricciones de generación hidráulica

B. RESULTADOS MÁS RELEVANTES

(De tipo científico)

Algoritmo de flujos en redes no lineales que incorpora métodos de multiplicadores basados en una combinación de estimaciones de primer orden y de orden superlineal.

Métodos BFGS de memoria limitada para la obtención de multiplicadores de Lagrange.

Hemos descrito un procedimiento para transformar el problema original en un problema reverse convexo basado en las propiedades de las funciones d.c. (diferencia convexa de funciones).

Hemos descrito, demostrado la convergencia y implementado un algoritmo de OG mediante el uso combinado de un proceso de subdivisión por prismas y un procedimiento de aproximación exterior (que tiene ventajas sobre otros algoritmos mencionados anteriormente).

Se han documentado y probado computacionalmente distintas variantes de implementación de los procedimientos del conjunto activo y de generación de columnas según el método de Ford-Fulkerson para la formulación de Bloom y Gallant de la planificación hidrotérmica de largo plazo. Se ha efectuado una comparación computacional con diversos casos reales de la implementación con procedimiento de conjunto activo y con generación de columnas de Ford-Fulkerson resultando ser este último mucho más eficiente.

Se ha descrito, implementado y probado un nuevo modelo cuadrático de maximización de beneficios en la planificación a largo plazo por parte de empresas de generación eléctrica en un sistema competitivo, teniendo en cuenta la evolución de los precios de mercado.

(De tipo tecnológico)

Paquete PFNRN04 que actualiza el paquete PFNRN03 incorporando métodos de orden superlineal de memoria limitada, que permite resolver eficientemente problemas no lineales que contienen grandes redes y restricciones no lineales.

Hemos descrito un método para obtener la representación d.c. de una función polinómica en forma óptima y así obtener implementaciones más eficientes.

Hemos implementado un algoritmo de programación semi-infinita para obtener la representación d.c. de una función polinómica en forma óptima.

Implementaciones computacionales para planificación a largo plazo según formulación de Bloom y Gallant, de los métodos de conjunto activo y de generación de columnas según procedimiento de Ford-Fulkerson, este último para función objetivo lineal y cuadrática.

Implementaciones computacionales para planificación a largo plazo según formulación de Bloom y Gallant mediante el lenguaje de modelización *AMPL* y los resolutores lineal y cuadrático de *Cplex*.

C. RESUMEN DE LOS RESULTADOS DEL PROYECTO

1. Formación del personal	Nº			
Personal Formado	(5)			
Personal formado o en formación que se ha transferido al sector industrial:				
Doctores (1)	Titulados Superiores	(1)	Técnicos	()
2. Tesis doctorales	(2)			
3. Artículos científicos en revistas	(2)	nacionales	(5)	internacionales
4. Artículos de divulgación en revistas	()	nacionales	()	internacionales
5. Artículos de revisión en revistas	()	nacionales	(1)	internacionales
6. Libros, capítulos de libros y monografías	(11)	nacionales	(3)	internacionales
7. Conferencias en congresos (por invitación)	()	nacionales	(3)	internacionales
8. Patentes y otros títulos de propiedad industrial	()	registrados	()	en explotación
	()	España	()	extranjero

1. FORMACIÓN DE PERSONAL EN RELACIÓN AL PROYECTO, describir brevemente.

- **Dr. César Beltran Royo:** el Dr. César Beltran Royo, Licenciado en Matemáticas por la Universidad de Valencia, ha realizado su tesis doctoral dentro del grupo de investigación financiado por este proyecto en temas de Coordinación Hidro-Térmica a Corto Plazo. Gracias a la repercusión del trabajo desarrollado en su tesis, se encuentra trabajando desde febrero de 2002 como investigador en el HEC, centro de investigación en Programación Matemática de la Universidad de Ginebra, Suiza.
- **Sr. Jordi Laseras:** el Sr. Jordi Laseras, Diplomado en Estadística por la Universidad Politécnica de Catalunya, se incorporó al grupo de investigación colaborando en el desarrollo del código de resolución del problema MACH. En la actualidad está finalizando el proyecto final de carrera de la Licenciatura en Ciencias y Técnicas Estadísticas donde desarrolla algunas de las ideas aportadas en la Tesis del Dr. César Beltran.
- **Dña. Adela Pagès:** Dña. Adela Pagès, Licenciada en Ciencias y Técnicas Estadísticas por la Universidad Politécnica de Cataluña, realizó su Proyecto de Fin de Carrera dentro del grupo investigador realizando la codificación de la Planificación Hidrotérmica a Largo Plazo según la formulación de Bloom y Gallant y la metodología de Ford-Fulkerson. Ha colaborado como becaria contratada en el proyecto realizando diversas tareas y, actualmente, habiendo

conseguido una beca de FPU, realiza el doctorado dentro de nuestro grupo en temas afines al nuevo proyecto investigador que es continuación del que es objeto de esta memoria.

- **Dr. Andrés Ramos Ramírez:** el Dr. Andrés Ramos Ramírez, Ingeniero Químico por la Universidad de las Américas, Puebla (México), ha realizado su tesis doctoral dentro del grupo de investigación financiado por este proyecto en temas de Planificación Hidro-Térmica a Corto Plazo aplicando métodos de punto interior con restricciones no lineales. Se ha reincorporado actualmente a sus tareas docentes e investigadoras en la Universidad de las Américas, Puebla, de la cual era y es profesor.
- **D. Francesc Rossell:** D. Francesc Rossell, Licenciado en Matemáticas por la Universitat Politècnica de Catalunya, se incorporó al grupo investigador en 1999 como estudiante de doctorado, desarrollando la línea de aplicación de programación semidefinida para la resolución de la coordinación hidrotérmica a corto plazo, habiendo obtenido una beca de FPI para realizarlo. Al final del año 2000 decidió abandonar el doctorado para tomar un trabajo en la industria, trabajando en temas de optimización en una ingeniería consultora.

2. TESIS DOCTORALES REALIZADAS TOTAL O PARCIALMENTE EN EL PROYECTO.

Indicar: Título, nombre del doctorado, Universidad, Facultad o Escuela, fecha de comienzo, fecha de lectura, calificación y director.

Título: Convergencia de métodos de punto interior para problemas no lineales. Aplicación a la coordinación hidrotérmica a corto plazo de generación de electricidad.

Doctorando: Andrés Ramos Ramírez
Universidad: Politècnica de Catalunya
Facultad / Escuela: Facultat de Matemàtiques i Estadística
Fecha comienzo: enero de 1998
Fecha lectura: mayo de 2001
Calificación: Sobresaliente Cum Laude
Director: Narcís Nabona

Título: 'Generalized unit commitment by the radar multiplier method'

Doctorando: César Beltran Royo
Universidad: Universitat Politècnica de Catalunya
Facultad / Escuela: Facultat de Matemàtiques i Estadística
Fecha comienzo: julio de 1999
Fecha lectura: julio de 2001
Calificación: Sobresaliente Cum Laude
Director: Dr. F. Javier Heredia

3. ARTICULOS CIENTÍFICOS EN REVISTAS.

Indicar: Autor(es), título, referencia de la publicación.

Autores (p.o. de firma): César Beltran, F. J. Heredia
Título: Short-Term Hydrothermal Coordination by Augmented Lagrangean Relaxation: a new Multiplier Updating.
Revista : Investigación Operativa. Revista Latino-Ibero-Americana de Investigación Operativa.
Clave: A Volumen: 8, No.1,2,3 Páginas, inicial: 63 final:75 Fecha: 1999
Edita: ALIO: Asociación Latino-Ibero-Americana de Investigación Operativa Lugar de publicación: Brasil

Autores (p.o. de firma): J.A. González and N. Nabona
Título: Multicommodity long-term hydrogeneration optimization with capacity and energy constraints
Revista: TOP

Clave: A Volumen: 8 Páginas, inicial: 73 final: 85 Fecha: 2000
Edita: SEIO Lugar de publicación: Madrid

Autores (p.o. de firma): Mijangos, E. y Nabona, N. (2001)
Título: On the first-order estimation of multipliers from Kuhn-Tucker systems.
Revista : Computers and Operations Research,
Clave: A Volumen: 28, No.3, Páginas, inicial: 243 final: 270 Fecha: 2001
Edita: Elsevier Lugar de publicación: Amsterdam

Autores (p.o. de firma): N. Nabona, C. Gil and J. Albrecht
Título: Long-Term Thermal Power Planning at VEW ENERGIE Using a Multi-Interval Bloom and Gallant Method
Revista: IEEE Trans. on Power Systems
Clave: A Volumen: 15 Páginas, inicial: 69 final: 77 Fecha: 2001
Edita: IEEE PES Lugar de publicación: New York

Autores (p.o. de firma): Cèsar Beltran, F. Javier Heredia
Título: Unit Commitment by Augmented Lagrangian Relaxation: Testing Two Decomposition Approaches.
revista : Journal of Optimization Theory and Applications
Clave: A Volumen: 112, no. 2 Páginas, inicial: 295 final:314 Fecha: febrero de 2002
Editorial: Kluwer Academic Lugar de publicación: EEUU

Autores (p.o. de firma): Mijangos, E.
Título: On superlinear multiplier update methods for partial augmented Lagrangian techniques.
Revista : Qüestio (Barcelona),
Clave: A Volumen: 26, No.1-2, Páginas, inicial: 141 final: 171 Fecha: 2002
Edita: IDESCAT Lugar de publicación: Barcelona

Autores (p.o. de firma): Mijangos, E.
Título: An implementation of Newton-like methods on nonlinearly constrained networks.
Revista : Computers and Operations Research
Clave: A Volumen: , No. , Páginas, inicial: final: Fecha aceptación para publicación: 2002
Edita: Elsevier Lugar de publicación: Amsterdam

4. ARTÍCULOS DE DIVULGACIÓN EN REVISTAS.

Indicar: Autor(es), título, referencia de la publicación.

5. ARTÍCULOS DE REVISIÓN.

Indicar: Autor(es), título, referencia de la publicación.

Autores (p.o. de firma): Cèsar Beltran, F. Javier Heredia
Título: An Effective Linesearch for the Subgradient Method.
revista : Journal of Optimization Theory and Applications
Editorial: Kluwer Academic Lugar de publicación: EEUU

6. LIBROS, CAPÍTULOS DE LIBROS Y MONOGRAFÍAS.

Indicar: Autor(es), título, referencia de la publicación

- **Capítulos de libros**

Autores (p.o. de firma): F. Javier Heredia
Título: Constrained nonlinear network flow problems through projected Lagrangian methods.

Ref. revista X Libro: *Problems in Modern Applied Mathematics*. Mathematics and Computers in Science and Engineering. A Series of Reference Books and Textbooks.

Clave: CL Volumen: Páginas, inicial: 406 final: 411 Fecha: junio 2000

Editorial (si libro): World Scientific Engineering Society Press Lugar de publicación:

Autores (p.o. de firma): A. Ferrer

Título: Representation of a polynomial function as a difference of convex polynomials, with an application

Ref. revista X Libro: Serie Lectures Notes in Economics and Mathematical Systems

Clave: CL Volumen: 502 Páginas, inicial: 189 final: 207 Fecha: junio 2000

Editorial (si libro): Springer Verlag Lugar de publicación: Heidelberg

• **Monografías.**

Autores (p.o. de firma): César Beltran, F. Javier Heredia

Título: Unit commitment by augmented Lagrangian relaxation: testing two decomposition approaches.

Ref. revista / Libro: DR 2000/08. Dept. de Estadística e Investigación Operativa. UPC

Clave: S Volumen: Páginas, inicial: final: Fecha: junio 2000

Editorial (si libro): Lugar de publicación:

Autores (p.o. de firma): F. Javier Heredia

Título: MAPH5.2 Reference Manual

Ref. revista / Libro: DR 2000/09. Dept. de Estadística e Investigación Operativa. UPC

Clave: S Volumen: Páginas, inicial: final: Fecha: junio 2000

Editorial (si libro): Lugar de publicación:

Autores (p.o. de firma): F. Javier Heredia

Título: MAPH5.2 User's Guide

Ref. revista / Libro: DR 2000/10. Dept. de Estadística e Investigación Operativa. UPC

Clave: S Volumen: Páginas, inicial: final: Fecha: junio 2000

Editorial (si libro): Lugar de publicación:

Autores (p.o. de firma): N. Nabona and A. Ramos

Título: The naive path-following interior point method for linearly and nonlinearly constrained quadratic programming. Application to the short-term hydrothermal scheduling and the saw-path problems.

Ref. revista / Libro: DR 2000/19. Dept. de Estadística e Investigación Operativa. UPC

Clave: S Volumen: Páginas, inicial: final: Fecha: noviembre 2000

Editorial (si libro): Lugar de publicación:

Autores (p.o. de firma): A. Ramos and N. Nabona

Título: The application of Vanderbei and Shanno's interior-point algorithm for nonlinear programming to the short-term hydrothermal scheduling and the saw-path problems. Comparison with the naive method.

Ref. revista / Libro: DR 2000/21. Dept. de Estadística e Investigación Operativa. UPC

Clave: S Volumen: Páginas, inicial: final: Fecha: diciembre 2000

Editorial (si libro): Lugar de publicación:

Autores (p.o. de firma): Cesar Beltran, F. Javier Heredia

Título: An Effective Line Search for the Subgradient Method

Ref. revista / Libro: DR 2002/15. Dept. de Estadística e Investigación Operativa. UPC

Clave: S Volumen: Páginas, inicial: final: Fecha: febrer 2002

Editorial (si libro): Lugar de publicación:

Autores (p.o. de firma): F. Javier Heredia

Título: MAPH6.1 User's Guide

Ref. revista / Libro: DR 2002/22. Dept. de Estadística e Investigación Operativa. UPC

Clave: S Volumen: Páginas, inicial: final: Fecha: diciembre de 2002

Editorial (si libro): Lugar de publicación:

Autores (p.o. de firma): F. Javier Heredia

Título: MAPH6.1 Reference Manual

Ref. revista / Libro: DR 2002/23. Dept. de Estadística e Investigación Operativa. UPC
Clave: S Volumen: Páginas, inicial: final: Fecha: diciembre de 2002
Editorial (si libro): Lugar de publicación:

Autores (p.o. de firma): N. Nabona and A. Pagès
Título: Long-term electric power planning in a competitive market using the Bloom and Gallant procedure and a modeling language

Ref. revista / Libro: DR 2002/24. Dept. de Estadística e Investigación Operativa. UPC
Clave: S Volumen: Páginas, inicial: final: Fecha: diciembre de 2002
Editorial (si libro): Lugar de publicación:

Autores (p.o. de firma): A. Pagès and N. Nabona
Título: Long-term electric power planning using the Bloom and Gallant linear model. A comparison of solution techniques. Ref. revista / Libro: DR 2002/25. Dept. de Estadística e Investigación Operativa. UPC

Clave: S Volumen: Páginas, inicial: final: Fecha: diciembre de 2002
Editorial (si libro): Lugar de publicación:

Autores (p.o. de firma): Jordi Laseras, F. Javier Heredia

Título: Estudio de la eficiencia del código PFNRN como optimizador del programa MAPH6.1

Ref. revista / Libro: DR 2003/6. Dept. de Estadística e Investigación Operativa. UPC

Clave: S Volumen: Páginas, inicial: final: Fecha: febrero de 2003
Editorial (si libro): Lugar de publicación:

7. CONFERENCIAS EN CONGRESOS, SIMPOSIOS Y REUNIONES (POR INVITACIÓN)

Indicar: Autor(es), nombre del congreso, lugar de celebración, año.

AUTORES: Heredia, F.J.

TÍTULO: Constrained nonlinear network flow problems through projected Lagrangian methods.

TIPO DE PARTICIPACIÓN: Ponencia oral invitada

CONGRESO: 4th world conference on Circuits, Systems, Communications and Computers CSCC2000

PUBLICACIÓN: Libro de actas.

LUGAR DE CELEBRACIÓN: Atenas

FECHA: 2000

AUTORES: A. Ramos y N. Nabona

TÍTULO: Algoritmos de punto interior para un problema no lineal no convexo.

TIPO DE PARTICIPACIÓN: Presentación invitada

CONGRESO: XI Congreso Latinoamericano de Investigación de Operaciones (Claio 2002)

PUBLICACIÓN: Actas del Congreso

LUGAR DE CELEBRACIÓN: Concepción, Chile

FECHA: 28 de octubre de 2002

AUTORES: A. Ferrer

TÍTULO: Applying global optimization to a problem in the real world.

TIPO DE PARTICIPACIÓN: Ponencia oral invitada

CONGRESO: 7th International Symposium on Generalized Convexity/Monotonicity,

PUBLICACIÓN: Libro de actas.con presentaciones escogidas (Springer Verlag)

LUGAR DE CELEBRACIÓN: Hanoi, Vietnam

FECHA: August 27-31/2002

AUTORES: N. Nabona

TÍTULO: Long-term electric power planning through the Bloom and Gallant formulation. Models and optimization techniques.

TIPO DE PARTICIPACIÓN: Presentación invitada

CONGRESO: Seminario ERGO (Edinburgh Research Group on Optimisation)

PUBLICACIÓN: -

LUGAR DE CELEBRACIÓN: Edinburgh G.B.

FECHA: December 16, 2002

8. PATENTES Y OTROS TÍTULOS DE PROPIEDAD INDUSTRIAL.

Indicar: Autor(es), título, registro, entidad titular de la patente, año, países, clase.

D. CARÁCTER DE LOS RESULTADOS DEL PROYECTO (señalar hasta dos opciones)

Teóricos

Teórico-prácticos

Prácticos

De inmediata aplicación industrial

E. COLABORACIONES Y PARTICIPACIÓN EN PROGRAMAS INTERNACIONALES.

1. Si el proyecto ha dado lugar a colaboraciones con otros grupos de investigación, coméntelas brevemente.

En caso contrario, indicar qué dificultades ha encontrado.

2. Si ha participado en proyectos del Programa Marco de I+D de la UE y/o en otros programas internacionales en temáticas relacionadas con las de este proyecto, indique programa, tipo de participación y beneficios para el proyecto.

Mencione las solicitudes presentadas al Programa Marco de la UE durante la ejecución del proyecto, aunque no hayan sido aprobadas.

Dos miembros del grupo investigador han estado participando en el proyecto europeo IST-2000-25069 CASC del V Programa Marco sobre confidencialidad de datos en tablas estadísticas. El trabajo desarrollado está relacionado con la optimización en redes.

Aún no habiendo una relación directa con los temas de este proyecto de investigación, si hay una posible relación futura en cuanto al empleo de flujos multiartículo empleados en la modelización de la generación hidráulica de largo plazo, y en el empleo de flujos multiartículo para confidencialidad en tablas de tres dimensiones.

F. PROYECTOS COORDINADOS ¹

1. Describa el desarrollo de la coordinación entre Subproyectos, y los resultados de dicha coordinación en relación a los objetivos globales del Proyecto.

La coordinación de ambos Subproyectos se ha producido por la utilización de dos técnicas específicas de optimización empleadas en ambos subproyectos:

- Las técnicas de punto interior, y
- El empleo de flujos multiartículo.

Las técnicas de punto interior para programas cuadráticos han sido empleadas en ambos subproyectos. En el primero para resolver problemas de planificación hidrotérmica a corto plazo y en el segundo para planificación de redes de comunicaciones. También en el primero se han desarrollado técnicas para tener en cuenta restricciones no lineales, lo cual también interesa al subproyecto segundo. Por ello, la experiencia adquirida en ambos subproyectos ha podido ser comunicada y compartida por todos, lo cual ha revertido en una mayor eficiencia en la consecución de los objetivos.

En cuanto a los flujos multiartículo, esenciales en las redes de comunicaciones del subproyecto segundo, se emplean también en el subproyecto primero para la modelización de la hidráulica a largo plazo y de la generación hidroeléctrica teniendo en cuenta aportaciones naturales de agua de distinta probabilidad de ocurrencia. Se ha contado en el trabajo del subproyecto primero con software de flujos multiartículo desarrollado conjuntamente por miembros de ambos subproyectos con anterioridad, y con la asesoría durante este Proyecto para su empleo.

Siendo ambos subproyectos muy afines se han podido compartir tanto los recursos de equipamiento informático como de software (licencias y librerías) adquiridos, y se ha programado su adquisición conjunta. Asimismo, se ha podido contar con el asesoramiento mutuo en temas comunes a lo largo del desarrollo de los subproyectos.

¹ A rellenar sólo por el coordinador del proyecto.

G. RELACIONES O COLABORACIONES CON DIVERSOS SECTORES

G1. Si en el proyecto ha habido colaboración con Entes Promotores Observadores (EPO) participantes:

1. *Describa en detalle la relación mantenida con los EPO's, y la participación concreta de éstos en el proyecto, especificando, si procede, su aportación al mismo en todos sus aspectos. (Si se ha modificado la relación y/o el apoyo del EPO, en relación con lo previsto a la aprobación del proyecto, descríbalo brevemente).*

La relación con los EPO, empresas de generación eléctrica todos ellos, tiene dos motivaciones:

- La obtención de datos reales de su sistema de generación y precios de explotación de su sistema, y
- Los modelos de optimización de la explotación del sistema de generación que les parece más adecuado emplear.

Sin los datos reales que nos han suministrado, la prueba de los desarrollos efectuados en el Proyecto no se hubiera podido llevar a cabo.

También es claro que la situación específica de cada país, en cuanto a las regulaciones del mercado competitivo de la producción eléctrica, no está claramente descrita en las publicaciones científicas sobre estos temas, por lo que es imprescindible un interlocutor del sector para poder desarrollar algo que pueda resultar útil. Fruto de la relación mantenida con algunos de los EPO de este proyecto se ha modificado el planteo del problema de largo plazo cambiándolo de minimización de costes a maximización de beneficios, creando un nuevo modelo que ha resultado ser cuadrático en vez del lineal de la minimización de costes.

Se han mantenido diversos contactos de exposición de datos, discusión de modelos, y presentación posterior de resultados con Unión Fenosa y ENDESA, y posteriormente con Viesgo-ENEL, ya que la persona de contacto en ENDESA ha dejado esta para tomar responsabilidades similares en Viesgo-ENEL. (Estos contactos se mantienen en el proyecto continuación del que es objeto de esta memoria, ya que han sido las dos empresas más colaborativas.)

Los contactos no han resultado a menudo fáciles por problemas de agenda y por la confidencialidad con que cada empresa trata la información que se les requiere.

Por la necesidad en nuestros modelos de trabajar con la demanda total de todo el sistema español, se han solicitado también datos a REDESA (Red Eléctrica de España, S.A.) no disponibles a través de su página web. Estos datos nos han sido enviados.

Para los precios de mercado se ha contado con los datos y boletines publicados en la página web del Operador del Mercado Eléctrico.

2. *Describa, si procede, las transferencias realizadas al (los) EPO (s) de los resultados obtenidos, indicando el carácter de la transferencia y el alcance de su aplicación.*

Como se describió más arriba, las transferencias, de momento han sido de recepción de datos, discusión de modelos de explotación, y presentación de resultados obtenidos con los datos suministrados utilizando los programas desarrollados en el Proyecto.

3. *Indique si esta colaboración ha dado lugar a la presentación de nuevos proyectos o si se tiene intención de continuarla en el futuro. En caso afirmativo, describa brevemente cómo va a concretarse.*

Se solicitó y obtuvo un nuevo Proyecto del MCYT: DPI2002-03330 "Coordinación hidrotérmica a corto y largo plazo de la generación eléctrica en un mercado competitivo", contando como EPO's a Unión Fenosa y Viesgo-ENEL. Esperamos que en el curso de su desarrollo los sucesivos refinamientos introducidos en los modelos y programas, acordados en los contactos a mantener, conduzcan a un producto directamente utilizable por alguno de los EPO.

G2. Si el proyecto ha dado lugar a otras colaboraciones con el entorno socioeconómico (industrial, administrativo, de servicios, etc.), no previstas inicialmente en el proyecto, descríbalas brevemente.

H. RESUMEN DE GASTO DEL PROYECTO

Miles de pta.

1. Gastos de personal (indicar datos personales, situación laboral y función desempeñada)

Personal laboral contratado han sido los Sres. Daniel Jesús Garcia Martínez,
Jordi Laseras y Adela Pagès
Total personal laboral 1205435

Becarios contratados han sido los Sres: Gloria Casanellas, Desirée Garcia Santana,
Jordi Laseras, Adela Pagès, y Francesc Rossell
Total becarios 3249033

Total 4.454.468

Las funciones desempeñadas han sido: D. D.J. Garcia Martínez, la construcción de una página web para el Proyecto. D. J. Laseras, la colaboración en tareas relacionadas con la coordinación hidrotérmica a corto plazo. Dña. Adela Pagès, colaboración en tareas relacionadas con planificación hidrotérmica a largo plazo. Dña. Gloria Casanellas, el desarrollo de programas de prueba para optimización global en planificación a corto plazo. D. F Rossell, en desarrollos para la gestión de datos y coordinación hidrotérmica a corto plazo.

2. Material inventariable (describir brevemente el material adquirido)

Dos servidores HP netserver LC2000 U2 con dos procesadores cada uno
Ordenador portátil HP omnibook XE4500
Ordenador portátil Dell Inspiron 4000 (compartido con Subproyecto 2)
Ordenador de sobremesa Pentium 4
Pantalla TFT Sony SDM-X82H
Licencia desarrollo Cplex (compartido con Subproyecto 2)
Licencia AMPL
Total inventariable 6693270

Compra de libros 57455

Total 6750725

3. Material fungible (describir brevemente el tipo de material)

Material de consumo y reposición 14268
Obras y mantenimiento 6198

Total 20466

4. Viajes y dietas (describir brevemente)

Dietas y locomoción para asistencia a congresos y reuniones con EPO's 1093364
Congresos y Seminarios (cuotas de inscripción) 182809

Total 1276173

5. Otros gastos (describir brevemente)

Gastos diversos (atenciones y viajes de investigadores invitados)	358460
Estudios y trabajos (revisiones del Ingles en trabajos y publicaciones)	47925
Gastos bancarios	2251
Comunicaciones (correos y mensajeros)	9930

Total	418566
-------	--------

6. Costes indirectos.

No hay.

Total	--
-------	----

7. En caso de que exista algún remanente de consideración en alguno de los capítulos, indique su cuantía y las previsiones de gasto.

Hay un exceso de gasto de Pts 20398, que se trasladaran al Proyecto siguiente (DPI 2002-03330).

TOTAL GASTOS DEL PROYECTO :	12920398
------------------------------------	-----------------

CONFORME con el resumen de gastos realizados en el Proyecto, el Responsable de los Servicios de Gestión del Organismo o Centro beneficiario.

D./D^a. : Josep Jofre

Fecha : 28 de marzo de 2003

Cargo : Director CTT

Firma y Sello :