

N.º REFERENCIA:



**MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN**  
**DIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN**  
**Y GESTIÓN DEL PLAN NACIONAL DE I+D+i**

**PROYECTOS I+D+i, ACCIONES ESTRATÉGICAS Y ERANET**

**INFORME DE SEGUIMIENTO ANUAL**

<b>Investigador Principal: F. Javier Heredia Cervera</b>
<b>Título del Proyecto:</b> <b>Short- and Medium-Term Multimarket Optimal Electricity Generation Planning with Risk and Environmental Constraints.</b>
<b>Organismo: Universitat Politècnica de Catalunya</b>
<b>Centro: Facultat de Matemàtiques i Estadística</b>
<b>Departamento: Estadística i Investigació Operativa</b>
<b>Fecha de inicio del proyecto: 01/01/2009</b>
<b>Fecha de finalización del proyecto: 31/12/2011</b>

Fecha: 04/02/2011

**SR. SUBDIRECTOR GENERAL DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN**  
Este documento no debe remitirse en papel/ por correo postal a la  
Subdirección

## A. ACTIVIDADES REALIZADAS Y GRADO DE CONSECUCIÓN DE LOS OBJETIVOS PROPUESTOS

1. Describa brevemente y relacionándolo con los objetivos planteados en su solicitud las actividades realizadas en el pasado año de desarrollo del proyecto. Indique si existe algún resultado a que haya dado lugar el proyecto durante ese período.

(Nota: el contenido de este apartado se basa en material preparado para la convocatoria de proyectos de investigación fundamental no orientada 2011 y de la página web del proyecto actual, ambos en inglés)

### **Objective 1: Multimarket modelization** (related tasks: MMO\_MUL;PRM)

- The development of a new short-term electricity multimarket stochastic programming models for the joint optimization of the day-ahead market and regulation and intra-diary market [Corchero10a].
- The integration in the day-ahead market all the new and existing bilateral contracts (Nationals, Primary Energy Emissions (EPE) [Heredia10a] and the Physically Delivered future Contracts [Corchero11].

### **Objective 2: Modelization of environmental issues.** (rel. tasks: ENV\_CGE;LEM;INF;MOD)

- The integration of a mathematical model for the low emission generation units (combined cycle) in the optimal day-ahead bid models [Heredia11].
- In medium-term planning, wind-power and PV-power has been specifically modeled decomposed into two pseudo units one with low outage probability and the other with a high one, and representative scenarios of this will be taken into account. Hydro generation has been represented as one pseudo-thermal unit plus constraints for each basin. Scenarios of inflows will be developed [Nabona10].
- New market price function in terms of load duration for each period that is endogenous with respect to hydro generation and to wind and PV power [Marí10a, Marí10b].
- Use of a stochastic model of medium-term market model using a scenario tree for random hydro inflows and wind power [Marí10b].

### **Objective 3: Stochasticity** (related tasks: STO\_CMP; FMP)

- An appropriate modelization of the stochastic variables through time series analysis [Munyo11] and the subsequent design and implementation of specifically tailored scenario tree generation and reduction techniques [Corchero10TD].
- In medium term planning, scenario generation must include many factors: wind- and solar-power, and hydro-inflow stochasticity, fuel- and emission-price stochasticity, and demand variation. Scenario reduction techniques have been employed to obtain problems that can be solved within an acceptable time. Both scenario generation and reduction require careful use of statistical properties of factors considered [Nabona10].

### **Objective 4: Optimization** (related tasks: ALG\_BAF; LAG)

- Development of specialized MINLP methods to solve the deterministic equivalent of the optimal day-ahead multimarket problem, based on the perspective cuts methodology [Mijangos10a,b],
- Development of specialized MINLP methods to solve the deterministic equivalent of the optimal day-ahead multimarket problem through proximal bundle methods [Aldarsoro11].
- Use of the GP heuristic to avoid having to generate and use an exponential number of LMCs inequalities in each period to represent the matching the LDC [Marí10b].
- Mixed market model with bilateral contracts with simultaneous matching of system load and of bilateral contract load, leading to an objective function that is a difference of convex quadratics [Marí10b, Nabona10].

### **Objective 5: Solution analysis** (related tasks: SOL\_COM; UFD; GND; GNS)

All the works described in the previous paragraphs were tested with real data test cases prepared with the help of the EPO Gas Natural Fenosa.

## Other activities developed under the project:

The activities along this second year can be summarized in the following items:

- [Professor Eugenio Mijango visits GNOM](#). (April 20, 2010, obj. 4).
- [Participation in the KIC Innoenergy workshop](#) (June 07, 2010, obj. 1-5).
- [Participation in the 7<sup>th</sup> International Conference on European Energy Market EEM10](#) (June 23-25, 2010, obj. 1,2,3,4)
- [Participation in the 24<sup>th</sup> European Conference on Operational Research, Lisbon](#) (July 11-14, 2010, obj. 1,2,3,4)
- [Participation in the International Conference on Operations Research, Munich](#) (September 1-3, 2010, obj. 1,2,3)
- [Participation in the Conference on Numerical Optimization and Applications in Engineering, Barcelona](#) (October 13-15, 2010, obj. 1,2,3,4).
- [2on year progress meeting at the headquarters of Gas Natural Fenosa, Madrid](#) (December 2010, obj.1,2,3,5 )
- [Participation in the Exploratory Workshop on Mixed Integer Nonlinear Programming, University of Sevilla](#) (December 2010, obj. 4)
- [Collaboration agreement between GNOM and Fersa Energías Renovables](#) (December 2010, obj. 1,2,3)
- [Collaboration agreement between GNOM at the Catalonia Institute for Energy Research](#) (December 2010, obj. 1,2,3)

Please, click on the links to access to the detailed information of each activity. For a complete description of the project's development, please visit the project's web site at:

<http://gnom.upc.edu/projects/energy/dpi2008-02153>

## Published papers in journal and proceedings

[Heredia11] F. J. Heredia, M. J. Rider, C. Corchero, [A stochastic programming model for the optimal electricity market bid problem with bilateral contracts for thermal and combined cycle units](#), *Annals of Operations Research (in press)*. DOI: [10.1007/s10479-011-0847-x](https://doi.org/10.1007/s10479-011-0847-x). 2011.

[Corchero11] Corchero, F. J. Heredia, [A Stochastic Programming Model for the Thermal Optimal Day-Ahead Bid Problem with Physical Futures Contracts](#), *Computers and Operations Research (in press)*. DOI: [10.1016/j.cor.2011.01.008](https://doi.org/10.1016/j.cor.2011.01.008). 2011

[Muñoz11] M. P. Muñoz, C. Corchero, F. J. Heredia, [Improving electricity market price scenarios by means of forecasting factor models](#). *Invited paper to International Statistical Review (to appear)*. 2011.

[Corchero10a] Cristina Corchero, F.-Javier Heredia, [Optimal Day-Ahead Bidding in the MIBELs Multimarket Energy Production System](#), *Proceedings of the 7<sup>th</sup> Conference on European Energy Market EEM10*, Madrid. DOI: [10.1109/EEM.2010.5558714](https://doi.org/10.1109/EEM.2010.5558714). 2010.

[Heredia10a] F. J. Heredia, M. J. Rider, C. Corchero, [Optimal Bidding Strategies for Thermal and Generic Programming Units in the Day-ahead Electricity Market](#), *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 25, no. 3, 1504-1518, Aug. 2010.

## Conference presentations

[Corchero10b] Cristina Corchero, F.-Javier Heredia, M.-Pilar Muñoz, [Optimal day-ahead bidding strategy with futures and bilateral contracts. Scenario generation through factor models](#), *24<sup>th</sup> European Conference on Operational Research*, 2010.

**[Corchero10c]** Cristina Corchero, F.-Javier Heredia, [Optimal Day-Ahead Bidding in the MIBELs Multimarket Energy Production System](#), [7<sup>th</sup> Conference on European Energy Market EEM10](#), Madrid, Spain, 2010

**[Heredia10b]** F.-Javier Heredia, Cristina Corchero, M.-Pilar Muñoz, Eugenio Mijangos, [Electricity Market Optimization: finding the best bid through stochastic programming](#), [Conference on Numerical Optimization and Applications in Engineering \(NUMOPEN-2010\)](#), [Centre de Recerca Matemàtica](#), UAB, Barcelona, Spain., 2010.

**[Mari10a]** Laura Marí, Narcís Nabona, [Medium-term Generation Planning in Liberalized Mixed Electricity Markets](#), [International Conference on Operations Research](#), Munich, Germany, 2010.

**[Mari10b]** Laura Marí, Narcís Nabona, [Endogenous model for medium-term electricity generation planning in liberalized mixed markets](#), [24<sup>th</sup> European Conference on Operational Research](#), Lisboa, 2010.

**[Mijangos10a]** Eugenio Mijangos, F.-Javier Heredia, [Perspective cuts for solving the optimal electricity market bid problem with bilateral contracts](#), [24<sup>th</sup> European Conference on Operational Research](#), Lisboa, 2010.

**[Mijangos10b]** Eugenio Mijangos, F.-Javier Heredia, Cristina Corchero, [Solving electric market problems by perspective cuts](#), [International Conference on Operations Research](#), Munich, Germany, 2010.

**[Nabona10]** Narcís Nabona, Laura Marí, [Medium-term generation planning optimization in liberalized electricity markets](#), [Conference on Numerical Optimization and Applications in Engineering](#), [Centre de Recerca Matemàtica](#), UAB, Bellaterra (Catalonia), 2010.

## PhD Thesis

**[Corchero10TD]** Cristina Corchero, [Short Term Bidding Strategies for a Generation Company in the Iberian Electricity Market](#). F.-Javier Heredia, supervisor. Dept. of Statistics and Operations Research. UPC. 2011.

## MSc and BSc Thesis

**[Aldarsoro11]** Unai Aldarsoro, Optimización de modelos estocásticos de mercado eléctrico múltiple mediante métodos duales. MsC Thesis. Advisor: F. Javier Heredia. Master of Statistics and Operations Research, [Facultat de Matemàtiques i Estadística](#), UPC. 2011.

2. Si ha encontrado problemas en el desarrollo del proyecto, coméntelos, especificando su naturaleza (de carácter científico, de gestión, etc).

El hecho de no poder disponer de suficiente financiación para la contratación de los investigadores pos-doc (PD1 y PD2 en la planificación original) ha provocado que parte de las tareas en las que participaban hayan sufrido retrasos. Esto ha sido así en las tareas relacionadas con los modelos price-maker de mercado, la modelización de las emisiones y del riesgo (tareas MMO\_RSK, ENV\_CGE, ENV\_REN, STO\_CGP, STO\_PRC).

## **B. PERSONAL ACTIVO EN EL PROYECTO DURANTE EL PERÍODO QUE SE JUSTIFICA.**

En el cuadro siguiente debe recogerse la situación de todo el personal del o de los Organismos participantes que haya prestado servicio en el proyecto en la anualidad que se justifica, o **que no haya sido declarado anteriormente**, y cuyos costes (salariales, dietas, desplazamientos, etc.) se imputen al mismo.

Si la persona estaba incluida en la solicitud original, marque “S” en la casilla correspondiente y no rellene el resto de las casillas a la derecha.

Indique en la casilla “Categoría Profesional” el puesto de trabajo ocupado, el tipo de contratación: indefinida, temporal, becarios (con indicación del tipo de beca: FPI, FPU, etc.), etc.

En el campo “Función en el proyecto” indique el tipo de función/actividad realizada en el proyecto, (p. ej., investigador, técnico de apoyo...).

### **Recuerde que:**

- En este capítulo solo debe incluir al personal vinculado a los Organismos participantes en el proyecto. Los gastos de personal externo (colaboradores científicos, autónomos...) que haya realizado tareas para el proyecto debe ser incluido en el capítulo de “Varios”.

- Las “Altas” y “Bajas” deben tramitarse de acuerdo con las “Instrucciones para el desarrollo de los proyectos de I+D+i” expuestas en la página web del MICINN.

Apellido 1	Apellido 2	Nombre	NIF/NIE	Catgª Profesional	Incluido en solicitud original	Si no incluido en solicitud original:		
						Función en el proyecto	Fecha de Alta	Observaciones
Heredia	Cervera	F. Javier	46533591Z	Titular de Universidad	S			
Corchero	Garcia	Cristina	46766118B	Becaria FPI	S			Becaria FPI hasta septiembre de 2010. A partir de septiembre 2010, contrato de obra y servicio de apoyo a la investigación.
Mijangos	Fernández	Eugenio	14238189Q	Titular de Universidad	S			
Rider	Flores	Marcos J.	1758452	Investigador contratado	S			
Marí	Tomas	Laura	46980779-J	Becaria FPI	N	Investigadora	30/07/2009.	Persona que ocupa la beca FPI asociada al proyecto. Realiza su tesis doctoral bajo la dirección del profesor Narcís Nabona.

### **C. PROYECTOS COORDINADOS** (*Cumplimentar solo por el coordinador si se trata de un proyecto coordinado*)

Describe el desarrollo de la coordinación entre subproyectos en este año, y los resultados de dicha coordinación con relación a los objetivos globales del proyecto.

- No procede.

### **D. RELACIONES O COLABORACIONES CON DIVERSOS SECTORES**

1. En caso de que estuviera prevista la participación o respaldo activo por parte de alguna empresa o agente socio-económico con interés en el proyecto, indique cómo se está realizando dicha participación.

El proyecto cuenta con la participación como EPOs de las empresas eléctricas Unión Fenosa y Gas Natural, en concreto, con los departamentos de mercado eléctrico de ambas compañías, responsables de la elaboración de las ofertas al mercado diario. Como es bien sabido, dichas empresas se fusionaron dando lugar a la empresa Gas Natural Fenosa (GNF). Tras el paréntesis en la comunicación con las dos empresas que se produjo durante la reestructuración de los departamentos de mercado eléctrico se ha restablecido la colaboración y hemos podido contar con datos e información con los que se han elaborado los modelos de optimización de mercado diario estudiados en las contribuciones indicadas en el apartado A1 de esta memoria. En diciembre de 2010 se celebró una reunión de seguimiento en la sede de Gas Natural Fenosa en Madrid en la que miembros del grupo de investigación presentaron los resultados de los dos primeros años del proyecto a los responsables de mercado eléctrico ([reseña de la reunión, transparencias de la presentación](#)). Además, los responsables de GNF han podido realizar un seguimiento puntual de los avances del proyecto a través de la página web habilitada para tal objeto (<http://gnom.upc.edu/projects/energy/dpi2008-02153>).

2. Si el proyecto ha dado lugar a otras colaboraciones o transferencias con entidades no académicas, descríbalas brevemente.

La actividad del proyecto nos ha puesto en contacto con diferentes entidades no académicas relacionadas tanto con la integración de la producción de las energías renovables no controlables (generación eólica y fotovoltaica) como con la resolución de los problemas de optimización de gran dimensión que surgen de los modelos de mercado eléctrico. Estas entidades son:

- **[FERSA Energías Renovables](#)**: una de las principales compañías de generación eólica de España y Europa. Fersa ha accedido a colaborar con el grupo de investigación GNOM en el desarrollo de modelos de oferta al mercado de generación eólica. [Más información aquí](#).
- **IESSL**: (Establecimientos Industriales y Servicios, S.L.) compañía de producción eléctrica española que opera en el MIBEL con una cartera de centrales hidráulicas y eólicas. Proporcionarán sus datos de generación hidráulica y eólicas para la elaboración de modelos de oferta óptima.
- **[Instituto de Investigación en Energía de Catalunya](#)** (IREC): institución participada por la administración pública autonómica y central así como por las principales empresas del sector energético español. Está previsto trabajar con miembros del IREC en la gestión óptima de generación renovable a través de microredes. [Más información aquí](#).
- **[Argonne National Laboratory](#)**: uno de los mayores laboratorios de investigación y desarrollo de los Estados Unidos de América, dependiente Departamento de Energía. Está previsto colaborar con el Dr. Sven Leyffer, uno de los mayores expertos mundiales en programación no lineal entera, en la resolución numérica de estos problemas.

Todas estas instituciones han aceptado colaborar como EPOs en el proyecto de investigación *Optimal integration of renewable energies in the multimarket electricity production system* propuesto por este grupo de investigación a la convocatoria de ayudas de proyectos de investigación fundamental no orientada de 2011, en el que se pretende extender la investigación desarrollada en el presente proyecto DPI2008-02153.

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

La elaboración de modelos de previsión de los precios de mercado eléctrico necesarios en la generación de escenarios para los modelos de programación estocástica se han realizado en colaboración con la profesora Dr. M. Pilar Muñoz del grupo de investigación [LIAM](#) de la UPC. Fruto de esta colaboración ha sido el trabajo [Muñoz11] reseñado anteriormente. También se ha iniciado una colaboración con el grupo de Electrónica de Potencia y Redes Eléctricas del Instituto de Investigación en Energía de Catalunya ([IREC](#)) y con el Centro de Innovación Tecnológica de la UPC ([CITCEA](#)) para el estudio de la integración óptima de las energías renovables en el mercado eléctrico.

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

No se da el caso.

## E. GASTOS REALIZADOS

**Nota: Debe cumplimentarse este apartado independientemente de la justificación económica enviada por el organismo.**

1. Indique el total de gasto realizado en el proyecto hasta este momento:

	Total gasto de la anualidad (€)
<b>Personal</b>	9.510,01
<b>Otros costes de ejecución</b>	25.986,85
<b>TOTAL GASTO REALIZADO</b>	35.496,86

2. Comente brevemente si ha habido algún tipo de incidencia en este apartado.

Aparte de las partidas previstas inicialmente, se han realizado gastos relacionados con la publicaciones internacionales a las que ha dado lugar el proyecto, como son las revisiones de inglés y cargos por exceso de páginas, ascendiendo a un total de 2083,24€ (se detallan en el apartado F-d). De entre los gastos realizados durante este año cabe destacar la contratación de un técnico superior de soporte a la investigación de diciembre 2010 a diciembre 2011, así como la compra de un servidor de cálculo intensivo, ambos previstos y justificados en la propuesta original.

## **F. GASTOS DE EJECUCIÓN: MODIFICACIONES DE CONCEPTOS DE GASTO CON RESPECTO A LA SOLICITUD ORIGINAL.**

Recuerde que los trasvases entre gastos de personal y gastos de ejecución deben tramitarse de acuerdo con las “Instrucciones para el desarrollo de los proyectos de I+D+i” expuestas en la página web del MICINN.

### **a) Equipamiento:**

En el cuadro adjunto, rellene una línea por **cada equipo adquirido no previsto en la solicitud inicial** que dio lugar a la concesión de la ayuda para el proyecto y justifique brevemente su adquisición. Si se ha adquirido un equipo en sustitución de otro que figuraba en la solicitud de ayuda inicial (por mejorar sus prestaciones, por obsolescencia del anterior...), indíquelo también en la casilla correspondiente.

<b>Identificación del equipo</b>	<b>Importe</b>	<b>Justificación adquisición</b>	<b>Sustituye a... (en su caso).</b>
Impresora HP Officejet 6500	245,00€	Mejora prestaciones	Impresora HP Officejet serie J5780
PC Dell Precision T1500	1.650,00€	Mejora prestaciones	PC Dell Optiplex 755 DT
Servidor Fujitsu PY RX200 S6	9.851,69€	Mejora prestaciones	Servidor Sun FIRE X2200 M2

### **b) Viajes/Dietas:**

En el cuadro adjunto se justificará la imputación de gasto en viajes y dietas solo en el caso de que este **tipo de gasto no estuviera previsto en la solicitud inicial**

--



**c) Material fungible:**

Se describirá y razonará en el siguiente cuadro la adquisición del material fungible incluido en la justificación, sólo cuando **este tipo de gasto no estuviera previsto en la solicitud original**.

--

**d) Varios:**

Se describirán en el siguiente cuadro los gastos varios más relevantes incluidos en la justificación y **no previstos en la solicitud original**, justificando brevemente su inclusión. En este apartado se incluirá, entre otros, al personal externo y, en el caso de que el gasto justificado se refiera a colaboraciones científicas, se identificará al colaborador.

- |   |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Revisión lingüística del inglés en artículos de revistas internacionales (1.478,00€)</li><li>• Coste del exceso de páginas de artículo en revista internacional (605,24€)</li></ul> |
|---|