

**CIESOL**  
**Centro Mixto Universidad de Almería-Centro de Investigaciones Energéticas,  
Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT)**

**Título de documento:**

**Informe de actividades 2008**



**Referencia:** CIESOL-2008-Dirección-01  
**Revisión:** A  
**Fecha:** 12 marzo 2009  
**Número de páginas:** 45  
**Autor(s):** Dr. Antonio Romerosa (UAL)  
Dr. Christoph Richter (DLR-PSA)  
Dr. José A. Sánchez (UAL)  
Dr. Manuel I. Maldonado (CIEMAT)  
Dr. Manuel Berenguel (UAL)  
Dr. Luis Yebra (CIEMAT)  
Dr. Javier Batlles (UAL)  
Dr. Luis Zarzalejo (CIEMAT)  
Dra. M<sup>a</sup> José Jiménez (CIEMAT)  
Dr. Amadeo R. Fernández-Alba (UAL)  
Dr. Sixto Malato Rodríguez (CIEMAT)  
Dr. Manuel Pérez García (UAL)

*CIESOL es un centro estable de carácter público, sin personalidad jurídica propia, dotada de autonomía científica, tecnológica y administrativa para desarrollar líneas y proyectos de investigación y actividades de desarrollo, transferencia e innovación en diversos ámbitos de la ciencia y tecnología relacionados con la Energía Solar.*

<http://www.ciesol.es/>

Página en blanco

## ÍNDICE

|  |    |
|--|----|
| <b>1. Introducción</b>                                 | 4  |
| <b>2. Actividades en Organometálica y Fotoquímica</b>  | 6  |
| <b>3. Actividades en Tratamiento de Aguas</b>          | 10 |
| <b>4. Actividades en Modelado y Control Automático</b> | 16 |
| <b>5. Actividades en Evaluación del Recurso Solar</b>  | 23 |
| <b>6. Actividades en Química Ambiental</b>             | 30 |
| <b>7. Eficiencia Energética en la Edificación</b>      | 38 |
| <b>Anexos</b>  | 43 |

## **1. Introducción**

El 16 de Diciembre de 2005 se inauguró CIESOL. Este informe pretende compendiar las actividades desarrolladas a lo largo de 2008 y complementa a los informes de 2006 y 2007 disponible en las páginas web del centro (<http://www.ciesol.es>, sección documentos). Es necesario remarcar que en el tercer año de andadura, las actividades científicas relacionadas con nuevos proyectos de investigación se han visto claramente aumentadas, estando en este momento en marcha un total de **11 proyectos y 3 contratos con empresas**. Además se ha hecho un esfuerzo considerable en la preparación de propuestas de nuevos proyectos, tanto al Plan Nacional de Investigación, como al VII Programa marco de la UE. En cuanto a producción científica, es necesario resaltar que los proyectos llevados a cabo en el centro han dado lugar a **40 artículos en revistas internacionales** con índice de impacto, además de abundantes comunicaciones a congresos y otras actividades divulgativas. De todo ello se da cuenta en las siguientes páginas.

Durante 2008 ya están en marcha los laboratorios de CIESOL por parte de los grupos involucrados, estando disponibles aún dos laboratorios con vista a posibles ampliaciones de los grupos de investigación reunidos en el centro.

Otros hitos importante han sido la instalación de una planta fotovoltaica de 10 Kw de potencia pico, para el autoconsumo del edificio y la conclusión de las instalaciones relacionadas con las dos plantas piloto para descontaminación solar de aguas en el patio sur.

Respecto a actividades de formación cabe reseñar el éxito conseguido con el II MASTER EN ENERGÍA SOLAR, pionero en España. Este Master, de 300 horas de duración, comenzó el pasado 19 de Octubre de 2007, contando con 21 alumnos, y finalizó durante 2008. Durante Octubre de 2008 se ha comenzado el III MASTER EN ENERGÍA SOLAR.

Cabe reseñar también la buena acogida de la página Web de CIESOL, con dominio propio (<http://www.ciesol.es/>) y que sirve además de vía de comunicación del centro hacia la sociedad, dónde se recogen las actividades principales y además se incluye información de interés, como son, por ejemplo, estos informes anuales.

## **1. Introduction**

CIESOL was inaugurated on December 16<sup>th</sup> 2005. This report summarizes the activities along 2008 and it is complementary with 2007 and 2007 reports available at CIESOL web site (<http://www.ciesol.es>, documents). It is necessary to remark that along 2008 (3<sup>rd</sup> year after start-up) CIESOL has extended its activities to a wide range of projects: **11 research projects and 3 research contracts**. Indeed, a great effort has been done in new proposals related with 7<sup>th</sup>-EU FP and National Programmes. The scientific production of CIESOL has included **40 articles in peer review international journals**, different communications to national and international conferences jointly with other dissemination activities. All these matters are summarized in the following pages.

During 2008 all the installations of CIESOL are completely operative, being still available two specialized labs for future new activities. Another important milestones have been de set-up of a new photovoltaic plant (10 Kw) for CIESOL power supply and two pilot plants for solar wastewater treatment

It is important to highlight the success of the II MASTER IN SOLAR ENERGY, pioneer in Spain. This master (300 hours) began last October 19<sup>th</sup>, 2007 with 21 attendants and it concluded at October 2008. During October 2008, the III MASTER started.

CIESOL web site should be also emphasized, a really powerful tool for dissemination of the activities of the center to the society, where the main activities and reports (included this annual report) are incorporated.

## 2. Actividades en Organometálica y fotoquímica

### 2.1. NUEVOS VINILIDENOS Y ALENILIDENOS DE RUTENIO CON FOSFINAS SOLUBLES EN AGUA: ESTUDIO DE SUS PROPIEDADES EN DISOLUCIÓN ACUOSA

**Participantes:** Grupo de Inv. “Química de Coordinación, Organometálica y Fotoquímica” (CIESOL, Univ. de Almería).

**Contactos:** A. Romerosa Nievas ([romerosa@ual.es](mailto:romerosa@ual.es)), Christoph Richter ([christoph.richter@dlr.de](mailto:christoph.richter@dlr.de)). <http://www.ual.es/GruposInv/FQM-317/>

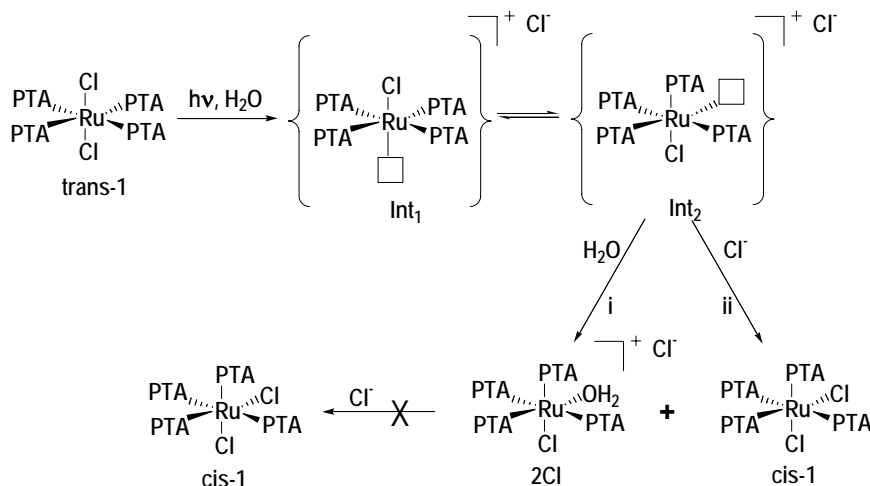
**Fuente de financiación:** MEC

**Duración prevista:** Enero 2007- Diciembre 2009.

**Situación:** En curso.

**Antecedentes:** La catálisis homogénea es uno de los medios más utilizados para la producción industrial de compuestos químicos. A pesar de lo útil que es, dicho procedimiento está aquejado de algunos problemas como la necesidad de uso de disolventes orgánicos, muy contaminantes, la imposibilidad de una fácil reutilización de los catalizadores o necesitar energía térmica.

**Objetivos:** Se pretenden desarrollar nuevos catalizadores homogéneos solubles en agua que medien reacciones de síntesis orgánica inducidas mediante luz solar. Dichos catalizadores permitirían obtener compuestos químicos con bajo impacto ambiental y energético al usar agua como disolvente, poder reutilizar el catalizador, fácil separación de los productos y el uso de la radiación solar como fuente de energía.



**Figura 2.1.** Mecanismo de fotoisomerización del complejo  $\text{cis-}[\text{RuCl}_2(\text{PTA})_4]$  (PTA = 1,3,5-triaza-7-phosphaadamantane).

**Resultados durante 2008:** Los resultados obtenidos fueron realmente motivadores, destacando: a) se ha desarrollado un método para isomerizar alquenos mediante luz visible a temperatura ambiente; b) se ha determinado un procedimiento que permite hidrogenar alquenos terminales selectivamente a temperatura ambiente, con presión de  $\text{H}_2$  de 1 atmósfera y con luz visible y en agua; c) se han obtenido nuevos complejos organometálicos novedosos que presentan actividad catalítica en fase homogénea tanto con luz como sin la misma. Durante el 2008 se ha estudiado con mayor profundidad todos los procesos iniciados en el 2007, en particular los mecanismos de las reacciones fotoquímicas de los primeros complejos fotocatalizadores que se obtuvieron. A

partir de dicho estudio se ha llegado a tener un conocimiento mucho más profundo del fenómeno fotoquímico.

**Abstract**

*The target of the project is to obtain new water soluble photocatalyst for mediating syntetic processes. The results obtained in 2008 are consequence of the results obtained in 2007 in which some new complexes active in photocatalysis for isomerization and hidrogenation of enols were obtained. In 2008 the research team has focused their main interest in knowing more about the mechanisme of the photochemical process as previous step to optimized the photocatalityc process.*

**Publicaciones.**

Tatiana Campos-Malpartida, Marianna Fekete, Ferenc Joó, Ágnes Kathó, C Antonio Romerosa, Mustapha Saoud, Wojciech Wojtków. Redox Isomerisation of Allylic Alcohols Catalysed by Water-Soluble Ruthenium Complexes in Aqueous Systems. *J. Organometallic Chemistry* **2008**, 693, 468-474

Adrián Mena-Cruz, Pablo Lorenzo-Luis, Antonio Romerosa, Manuel Serrano-Ruiz.. The Water Soluble dmoPTA (3,7-dimethyl-1,3,7-triaza-5-phosphabicyclo[3.3.1]nonane) as Polydentate Ligand: Synthesis of [RuClCp(PPh3)- dmoPTA-1 P:2 2N,N'-Co(acac- 2O,O')2]•H2O. *Inorg. Chem.* **2008**, 47, 2246-2248.

Nuevos Derivados Alenilidénicos de Ru(II) Solubles en Agua con el Ligando 1-metil-1,3,5-triaza-7-fosfaadamantano (mPTA): Actividad fotoquímica. Antonio Romerosa, Sonia Mañas, Mounia Chaara. XXVI Reunión del Grupo Especializado de Química Organometálica. Santiago de Compostela 9-12 de septiembre de 2008. I.S.B.N. 978-84-612-3996-2; Dep. Legal: C-1100-2008. PA21.

Comportamiento Fotoquímico del Complejo Soluble ne Agua [RuCl<sub>2</sub>(PTA)<sub>4</sub>]. Antonio Romerosa, Sonia Mañas, Ruggiada Girotti. XXVI Reunión del Grupo Especializado de Química Organometálica. Santiago de Compostela 9-12 de septiembre de 2008. I.S.B.N. 978-84-612-3996-2; Dep. Legal: C-1100-2008. PA50.

Experimental and Theoretical Study of the P-B Bond Cleavage in Amino-Acid-Containing Borane-Phosphine Complexes. Emma Petersn, Gábor Kovács, Manuel Serrano Ruiz, Agustí Lledós, Antonio Romerosa, Maurizio Peruzzini. V Simposio de Investigadores Jóvenes, Real Sociedad Española de Química – Sigma Aldrich. Santiago de Compostela, 9-12 noviembre de 2008. P 43.

**2.2. SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE POLÍMEROS POLIMETÁLICOS SOLUBLES EN AGUA. ESTUDIO DE SUS PROPIEDADES QUÍMICAS, FÍSICAS Y ACTIVIDAD FOTOCATALÍTICA EN AGUA.**

**Participantes:** Grupo de Inv. “Química de Coordinación, Organometálica y Fotoquímica” (CIESOL, Univ. de Almería).

**Contactos:** A. Romerosa Nievas ([romerosa@ual.es](mailto:romerosa@ual.es)), Christoph Richter ([christoph.richter@dlr.de](mailto:christoph.richter@dlr.de)). <http://www.ual.es/GruposInv/FQM-317/>

**Fuente de financiación:** MEC

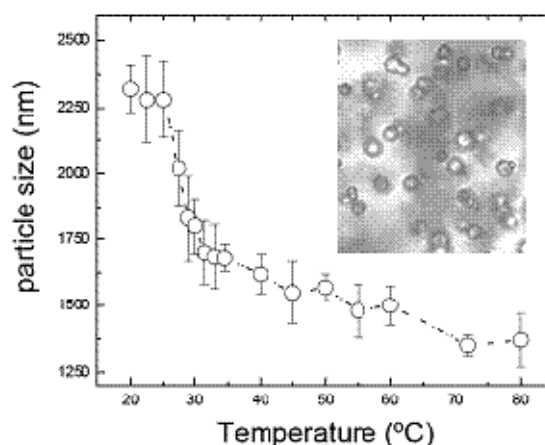
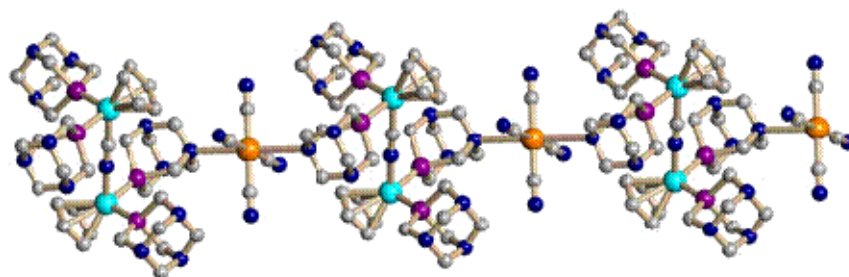
**Duración prevista:** Enero 2007- Diciembre 2009.

**Situación:** En curso.

**Antecedentes:** Como consecuencia de las investigaciones realizadas para obtener nuevos complejos metálicos photoactivos en catálisis se sintetizó y caracterizó en primer polímero polimetálico soluble en agua. Dicho compuesto mostró propiedades totalmente nuevas al conjugar en el características de otros tipos de compuestos que hasta ese momento no se habían reunido por ningún otro. Debido a la tremenda novedad de este tipo de compuestos se han hecho muchos esfuerzos para saber más sobre ellos y sobre todo poder sintetizar nuevos polímeros polimetálicos solubles en agua y el estudio de sus propiedades, en particular bajo radiación visible.

**Objetivos:** En este proyecto se pretende el desarrollo generalizado de nuevos polímeros polimetálicos solubles en agua, así como su caracterización y el estudio de sus propiedades químicas y físicas, en particular su posible actividad frente a la luz visible.

**Resultados durante 2008:** Como consecuencia del esfuerzo investigador en este proyecto se ha conseguido sintetizar de forma reproducible y controlada de una nueva familia de polímeros de Ru-Ru-Au solubles en agua que presentan propiedades de termogel. Este es el primer ejemplo de un compuesto de estas características jamás sintetizado. Dicho compuesto además de presentar propiedades de gel en disolución acuosa a temperatura ambiente y ser estable al aire, presenta novedosas e interesantes propiedades que se están investigando en la actualidad.



**Figura 2.2.** Estructura cristalina del polímero Ru-Ru-Au y sus propiedades de termogel en disolución acuosa.

#### Abstract

*The first air-stable water soluble poly-metallic polymer that includes a mixed P,N ligands as metal coordinating spacers has been recently reported by us. Aquo-soluble Ru-Au polymers which could have interesting and useful properties for a variety of applications such as magnetism, nonlinear optics, electrocatalysis, photocatalysis, photovoltaic, template formation*



*of ordered networks, advanced electrode materials, and conjugated coordination polymers. We have arrived to the reproducible synthesis of a family of the first water soluble, air stable hetero-bimetallic-polymeric structure based on two metal-containing moieties Ru-Ru-Au. Due to their physical and chemical properties, this complex is a promising material for industrial and biological applications i.e. smart catalysis, drug delivery or chemical sensing.*

**Publicaciones.**

Manuel Serrano Ruiz, Antonio Romerosa, B. Sierra-Martin, A. Fernandez-Barbero. A Water Soluble Ru<sub>2</sub>-Au Organometallic Microgel. *Angewante Chemie Int. Edit.* **2008**, 47, 8665-8669

Beatriz Gonzalez, Pablo Lorenzo-Luis, Antonio Romerosa, Manuel Serrano-Ruiz, Pedro Gili. Theoretical Aspects On Water Soluble [RuClcp(Pph<sub>3</sub>)<sub>2</sub>], [RUClCp(PTA)(PPH<sub>3</sub>)], [RUClCp(PTA)<sub>2</sub>], [RUClCp(mPTA)(PPH<sub>3</sub>)]<sup>+</sup> and [RUClCp(mPTA)<sub>2</sub>]<sub>2</sub><sup>+</sup> (PTA = 1,3,5-triaza-7-phosphaadamantane; Mpta = n-methyl-1,3,5-triaza-7-phosphaadamantane). *Theochem*, en prensa, **2008**

Paul Servin, Régis Laurent, Antonio Romerosa, Maurizio Peruzzini, Jean-Pierre Majoral, Anne-Marie Caminade. Synthesis of dendrimers ended by bis(diphenylphosphinomethyl)amino ligands and use of their Palladium complexes for catalyzing C-C cross-coupling reactions. *Organometallics*, **2008**, 27, 2066-2073

Hamdi, Naceur; Saoud, Mustapha; Romerosa, Antonio; Ben Hassen, Rached. Synthesis, Spectroscopic and Antibacterial Investigations of new Hydroxy Ethers and Heterocyclic Coumarin Derivatives. *Journal Heterocyclic Chemistry*. **2008**, 45, 1835-1842.

Photochemical Behaviour of Ruthenium complexes containing PTA and methylated PTA derivatives (PTA= 1,3,5-triaza-7-phosphatricycle[3.3.1.1<sup>3,7</sup>]decane). Antonio Romerosa, Rugiada Girotti, Sonia Mañas, Manuel Serrano-Ruiz, Mounia Chaara, Cristobal Saraiba-Bello, Lazhar Hajji, Adrián Mena-Cruz, Beatriz González del Castillo, Pablo Lorenzo-Luis. *International Symposium on Homogeneous Catalysis, ISHC-XVI; Florence (Italy); July 6-11 2008*. P260. ISBN: 88-87057-41-9.

### **3. Actividades en Tratamiento de Aguas**

#### **3.1. DESARROLLO DE SISTEMAS ACOPLADOS DE OXIDACIÓN (FOTOCATÁLISIS SOLAR Y OXIDACIÓN BIOLÓGICA) PARA LA DEPURACIÓN DE EFLUENTES ACUOSOS CONTAMINADOS CON PLAGUICIDAS NO BIODEGRADABLES**

**Participantes:** Grupo de Inv. “Ingeniería de Bioprocesos y Tecnologías del Agua” (CIESOL, Univ. de Almería); Dept. de Ingeniería Textil de la Univ. Polit. de Valencia; Unidad de “Aplicaciones Medioambientales de la Energía Solar” de la Plataforma Solar de Almería (CIESOL, CIEMAT), (coordinador).

**Contactos:** J. A. Sánchez ([jsanchez@ual.es](mailto:jsanchez@ual.es)); Ana M<sup>a</sup> Amat ([aamat@txp.upv.es](mailto:aamat@txp.upv.es)); S. Malato, [sixto.malato@psa.es](mailto:sixto.malato@psa.es)

<http://www.psa.es/webesp/projects/fotobiox/index.html>

**Fuente de financiación:** MEC, Proyecto coordinado.

**Duración prevista:** Octubre, 2006 - Octubre, 2009.

**Situación:** En curso

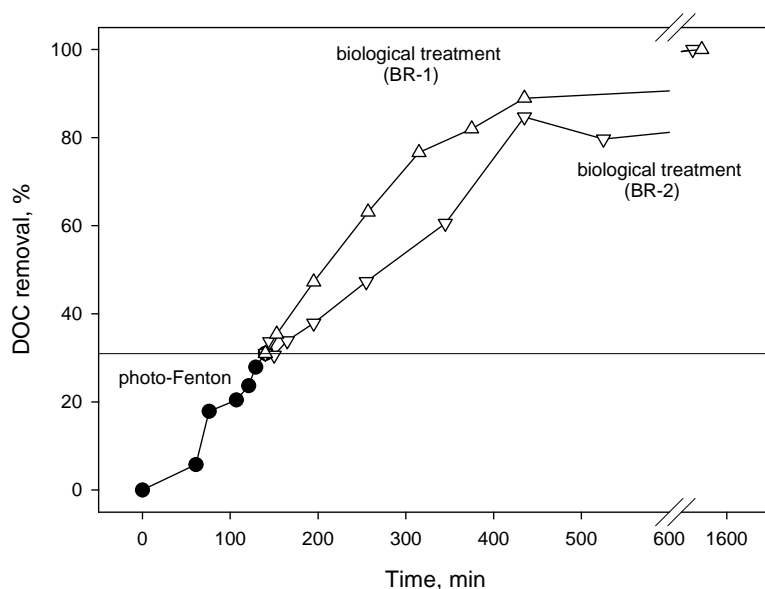
**Antecedentes:** Aunque actualmente existe información acerca de la posibilidad de combinar métodos de tratamiento basados en la oxidación química de contaminantes no biodegradables hasta conseguir que lo sean, la mayoría de esta información se circunscribe a la evaluación de parámetros globales como DBO<sub>5</sub>, DQO y COT y a la utilización de fangos activados de depuradora en pequeños dispositivos de laboratorio. La información sobre cinéticas de ambos procesos (químico y biológico) integrados y las propiedades tóxicas e inhibitorias de los diferentes compuestos que se generan durante el pre-tratamiento de oxidación es realmente escasa. Más aún, la poca experimentación llevada a cabo en planta piloto ha sido hasta ahora una de las razones principales para la ausencia de aplicaciones industriales en este campo

#### **Objetivos:**

1. Estudiar la detoxificación de mezclas de pesticidas mediante fotocatalisis con la utilización de técnicas de modelizado de experimentos y diseño experimental.
2. Estudio de las rutas de degradación de contaminantes y la influencia de los intermedios formados con la detoxificación y el aumento de biodegradabilidad de las aguas tratadas.
3. Estudiar la influencia sobre fotodegradación y toxicidad de otros contaminantes presentes en las aguas residuales junto a los plaguicidas.
4. Diseño de un sistema específico de depuración biológica basado en microorganismos adaptados a la naturaleza química de los contaminantes pretratados mediante fotocatalisis..
5. Diseño y construcción de un sistema integrado fotocatalisis-biológico a escala planta piloto.
6. Estudio de las variables del proceso.
7. Evaluación de la operatividad del sistema y evaluación económica del proceso

**Resultados durante 2008 (correspondientes al subproyecto desarrollado en CIESOL).** Se ha tratado un agua contaminada con una mezcla con 50 mg L<sup>-1</sup> de cada uno de los plaguicidas comerciales Laition, Metasystox, Sevnol y Ultracid. Después de someter a la mezcla a intensidades crecientes de tratamiento fotocatalítico, su biodegradación se ha llevado a cabo

mediante *P. putida* en matraces Erlenmeyer determinándose mediante la eficiencia del proceso biológico el tiempo mínimo de tratamiento foto-Fenton. Seguidamente, se ha comprobado que la intensidad de tratamiento seleccionada con *P. putida* es también la adecuada para fangos activos. La biodegradación se realizó con fangos activos en reactores tanque agitado de 6 L en modo discontinuo secuencial (SBR), alcanzándose eficiencias de biodegradación del 100% (Figura 3.1).



**Figura 3.1.** Mineralización del COD mediante el tratamiento combinado foto-Fenton-biológico. Mineralización del COD mediante foto-Fenton (—●—), BR-1 (—△—) y BR-2(—▽—).

Asimismo, se estudió la influencia de la concentración de carbono orgánico en el tratamiento combinado foto-Fenton-oxidación biológica partiendo de una mezcla de cinco plaguicidas comerciales (Vydate, Metomur, Couraze, Ditimur y Scala). Con esta mezcla se ha trabajado a dos concentraciones iniciales; 200 y 500 mg L<sup>-1</sup>. Para realizar dicho acoplamiento fue necesario determinar el tiempo mínimo de tratamiento de foto-Fenton que convierte en biodegradable la mezcla inicial cuyos principios activos son oxamilo, metomilo, imidacloprid, dimetoato y pirimetanil. Para estimar la biodegradabilidad se empleó la bacteria *Pseudomonas putida* mediante la medida de la eficiencia de biodegradación en matraces Erlenmeyer, por ser un método rápido, reproducible y fiable. Así, la mineralización requerida fue de un 33 y un 55% a 200 y 500 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente. El biotratamiento se realizó en modo discontinuo secuencial con fangos activos, donde la eliminación de carbono alcanzó una eficacia final del 94% en aproximadamente 5 h. Como revela la cinética de biodegradación, los intermedios generados cuando la concentración de plaguicida es mayor causan una disminución en las velocidades de consumo de carbono incluso a tiempos de tratamiento de foto-Fenton mayores.

### Abstract

*Although there is currently information on the possibility of using chemical oxidation treatments for non-biodegradable pollution until they become biodegradable, most of this information is limited to the evaluation of overall parameters such as BOD5 COD and TOC, and the use of activated sludge from treatment plants in small laboratory devices. The information on kinetics in the two integrated processes (chemical and biological) and the toxic and inhibitory properties of the different compounds that are generated during the oxidative pre-treatment is quite scarce. Furthermore, the little experimentation performed in pilot plants has up to now been one of the*

main reasons for the absence of industrial applications in this field. This project attempts to serve as a step forward in this subject. The specific Project objectives are the following:

1. Study the detoxification of pesticide mixtures by photocatalysis using experiment and experimental design modeling techniques.
2. Study the degradation pathways of pollutants and the influence of intermediates formed during detoxification and increased biodegradability of water treated.
3. Study the influence of photodegradation and toxicity of other pollutants present in waste water along with pesticides.
4. Design a specific biological treatment system based on microorganisms adapted to the chemical nature of pollutants pretreated by photocatalysis.
5. Design and erect an integrated photocatalytic-biological pilot plant.
6. Study the process variables.
7. Evaluate system operability and economics.

The selection of chemical oxidation degree to couple with a biological treatment will depend on the nature and concentration of pollutants and a case by case study is necessary. For the present five-pesticide mixture, the selected mineralization degree to combine with a biological oxidation increased with the original organic load, being 40% for the 200 mg L<sup>-1</sup> solution and 57% at 500 mg L<sup>-1</sup>. On the other hand, E<sub>f</sub> higher than 40% is proposed as a criterion for coupling photo-Fenton and a further biotreatment. Nonetheless, it is not enough to reach a certain biodegradability to ensure an efficient biological removal of reaction intermediates, as these chemical substances are degraded with different kinetics in the bioprocess. The higher the original pesticide concentration, the longer the photo-Fenton treatment time and the more recalcitrant the intermediates are. A combination strategy to treat pesticide concentrated waters to overcome the low biodegradability of photo-Fenton intermediates is mixing with a biodegradable carbon source (urban wastewater) to carry out the biological oxidation. Therefore, the ratio biodegradable wastewater to photo-chemical effluent will increase with the original pesticide concentration because photo-Fenton intermediates cause a decrease in sludge activity with the subsequent decrease in biodegradation rates. Activated sludge acclimatization with several SBR cycles allowed reaching complete biodegradation in less than 5 h following Monod model. Finally, starting from a concentrated pesticide solution at 500 mg L<sup>-1</sup> DOC, carbon removal efficiency as high as 90% was obtained by the combined process.

#### **Publicaciones.**

M. M. Ballesteros Martín, J. A. Sánchez Pérez, J. L. García Sánchez, J. L. Casas López, F. G. Acién Fernández y S. Malato Rodríguez. A kinetics study on the biodegradation of synthetic wastewater simulating effluent from an Advanced Oxidation Process using *Pseudomonas putida* CECT 324. *J. Hazardous Materials*. 151: 780–788 (2008).

M. M. Ballesteros Martín, J. A. Sánchez Pérez, F. G. Acién Fernández, J. L. Casas López, A. M. García-Ripoll, A. M. Amat, I. Oller, S. Malato Rodríguez. Combined photo-fenton and biological oxidation for pesticide degradation. Effect of photo-treated intermediates on biodegradation kinetics. *Chemosphere*. 70/8: 1476-1483 (2008).

M. M. Ballesteros Martín, J. A. Sánchez Pérez, F. G. Acién Fernández, L. Montes de Oca, J. L. Casas López, I. Oller, S. Malato Rodríguez. Degradation of alachlor and pyrimethanil by combined photo-Fenton and biological oxidation. *Journal of Hazardous Materials*. 155 (1-2): 342-349 (2008)

**Tesis Doctoral.** Depuración de aguas contaminadas con tóxicos persistentes mediante combinación de fotocatalisis solar y oxidación biológica. Isabel Oller Alberola. Febrero 2008. DIRECTORES: Sixto Malato Rodríguez, José Antonio Sánchez Pérez.

**Tesis Doctoral.** Eliminación de plaguicidas no biodegradables en aguas mediante acoplamiento de fotocatalisis solar y oxidación biológica. María de la Menta Ballesteros Martín. Julio 2008. DIRECTORES: José Antonio Sánchez Pérez, Sixto Malato Rodríguez.

### **3.2. SISTEMA ACOPLADO DE DEPURACIÓN BIOLÓGICA (BIORREACTORES DE MEMBRANA) Y FOTOCATÁLISIS SOLAR (FOTO-FENTON) PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS CONTAMINADAS CON TÓXICOS PERSISTENTES NO BIODEGRADABLES (FOTOMEM)**

**Participantes:** Grupo de Inv. “Ingeniería de Bioprocesos y Tecnologías del Agua” (CIESOL, Univ. de Almería); Unidad de “Aplicaciones Medioambientales de la Energía Solar” de la Plataforma Solar de Almería (CIESOL, CIEMAT).

**Contactos:** J. A. Sánchez ([jsanchez@ual.es](mailto:jsanchez@ual.es)); S. Malato, [sixto.malato@psa.es](mailto:sixto.malato@psa.es)

**Fuente de financiación:** Junta de Andalucía, Proyecto de Excelencia. Resolución de 16 de diciembre de 2008.

**Duración prevista:** Enero 2009 – Diciembre 2012.

**Situación:** Aprobado, a iniciar en 2009.

**Antecedentes:** Los procesos actuales de depuración biológica de aguas residuales no son eficaces en la eliminación de una variedad de tóxicos persistentes (plaguicidas, residuos industriales, fármacos) que imposibilitan, en su caso, el re-uso del agua tratada. Existe información acerca de la posibilidad de combinar métodos de tratamiento basados en la oxidación química de contaminantes no biodegradables hasta conseguir que lo sean, con reactores biológicos basados en fangos activados en pequeños dispositivos de laboratorio. La información sobre cinéticas de ambos procesos (químico y biológico) integrados y las propiedades tóxicas e inhibitorias de los diferentes compuestos que se generan durante el tratamiento oxidante es realmente escasa. Más aún, la poca experimentación llevada a cabo en planta piloto ha sido hasta ahora una de las razones principales para la ausencia de aplicaciones industriales en este campo. Este proyecto pretende ser un paso adelante en este tema y profundizar en la investigación que actualmente se está desarrollando de forma coordinada entre investigadores de la Plataforma Solar de Almería y del departamento de Ingeniería Química de la universidad de Almería que forman parte del Centro de Investigación en Energía Solar (CIESOL), Centro Mixto (CIEMAT-UAL).

#### **Objetivos:**

1. Estudiar la foto-degradación de contaminantes persistentes en aguas residuales y la toxicidad/biodegradabilidad de los intermedios de reacción generados.
2. Diseño y construcción de un sistema integrado fotocatalisis-biológico a escala planta piloto.
3. Análisis de la depuración biológica de los intermedios de foto-oxidación en biorreactores de membrana con fangos adaptados a la naturaleza química de los contaminantes. Con el fin de la reutilización de las aguas, se tendrán en cuenta las dos posibilidades de acoplamiento: i) pre-tratamiento foto-catalítico seguido del biológico (para aguas tóxicas no biodegradables) o ii) biodegradación y post-tratamiento foto-catalítico que elimine la materia orgánica remanente en el efluente del biorreactor de membrana (para aguas no tóxicas y sólo parcialmente biodegradables).

4. Estudio de las variables del proceso y evaluación económica.
5. Difusión de los resultados y fomento de la cultura científica.

**Abstract**

*The aim of this project is to gain further insight into the development of coupled methods of solar photocatalysis and biological oxidation for the regeneration of waters polluted with non biodegradable persistent pollutants. The main objective is to design, build and evaluate a coupled system of solar photocatalysis (photo-Fenton) with a membrane bioreactor, by using kinetic chemical and biological models for a specific group of pollutants. This system is expected to generate decontaminated water, whose quality allows its use in agriculture and industry (according to RD 1620/2007).*

*The specific objectives of this project are:*

1. *Study of changes of toxicity and biodegradability of a pesticide mixture in aqueous solution treated by means of solar photocatalysis (photo-Fenton) vs. the intensity of the photochemical process*
2. *Study the biologic purification achieved by membrane bioreactors for two coupling configurations: i) photocatalysis pre-treatment and posterior biologic oxidation ii) purification in a bioreactor and photocatalytic post-treatment of the effluent.*
3. *Study of the effect of the operational variables of the process on system performance and economic evaluation.*

**3.3. ACUERDO ESPECÍFICO DE COLABORACIÓN ENTRE EL CENTRO DE INVESTIGACIONES ENERGÉTICAS, MEDIOAMBIENTALES Y TECNOLÓGICAS (CIEMAT) Y LA UNIVERSIDAD DE ALMERÍA (UAL) SOBRE "PROCESOS, TÉCNICAS Y TECNOLOGÍAS DE DESALACIÓN SOLAR"**

**Participantes:** Grupo de Inv. "Ingeniería de Bioprocesos y Tecnologías del Agua" (CIESOL, Univ. de Almería). Unidad de "Aplicaciones Medioambientales" de la Plataforma Solar de Almería (CIEMAT).

Contactos: J. A. Sánchez ([jsanchez@ual.es](mailto:jsanchez@ual.es)), J. Blanco ([julian.blanco@psa.es](mailto:julian.blanco@psa.es))

**Fuente de financiación:** CIEMAT

**Duración prevista:** Octubre, 2007 - Septiembre, 2010.

**Situación:** En curso.

**Antecedentes:** Que el CIESOL, como Centro Mixto de la UAL y el CIEMAT, está formado por investigadores pertenecientes a ambas entidades (UAL y CIEMAT), figurando el tratamiento de aguas mediante energía solar entre sus líneas básicas de actividad, como lo demuestra la realización de tesis doctorales, la participación en proyectos relevantes de I+D y la publicación de numerosos artículos en revistas internacionales en este ámbito.

**Objetivos:** El objeto del presente Acuerdo es regular la cooperación entre la División del CIEMAT, Plataforma Solar de Almería, y la UAL, Grupo de Investigación "Ingeniería de Bioprocesos y Tecnologías del Agua", en el marco del CIESOL, para el desarrollo del área de Desalación Solar en general. La UAL, a través del CIESOL, apoya al CIEMAT a través del asesoramiento científico, recopilación y clasificación de información, análisis, desarrollo de

herramientas informáticas y realización de experiencias utilizando las instalaciones existentes, tanto en la PSA como en el CIESOL.

**Resultados durante 2008:** Declarados confidenciales

### **3.4. MONTAJE DE PLANTA PILOTO SOLAR**

Durante el año 2008 se ha instalado en el edificio CIESOL un cerramiento del lugar en que se encuentran las dos plantas piloto gemelas de 2.25 m<sup>2</sup> para realizar foto-Fenton construidas en 2007 (Figura 1).



**Figura 3.3.** Fotografía del cerramiento en el que se ubican las plantas gemelas para foto-Fenton.

De este modo se ha creado un nuevo laboratorio exterior dotado con todo el equipamiento necesario para realizar actividades de investigación (incluido instalación de agua, electricidad, aire comprimido, mobiliario, etc.). En su interior se han instalado dos nuevos biorreactores de 20 L de capacidad; uno tipo tanque agitado y otro biorreactor MBR provisto de tres membranas planas Kubota A4 con una superficie filtrante total de 0,3 m<sup>2</sup>. Ambos reactores están totalmente equipados y disponen de bomba de adición de medio y bomba de recirculación, sondas de pH, oxígeno disuelto y temperatura y medidor de turbidez. Adicionalmente, están provistos de tarjeta de adquisición de datos que permite registrar en línea los datos generados por el cultivo. Aparte de este equipamiento, el MBR dispone de sensor de presión transmembrana y sensor de nivel.

#### **Abstract**

*A new outdoor-lab has been installed to protect the photo-Fenton reactors from wind, and dust. This lab is used for operation of the coupled bioreactors, a 20-L stirred tank and a 20-L flat sheet membrane bioreactor.*

## 4. Actividades en Modelado y Control Automático

### 4.1 CONTROL JERÁRQUICO DE PROCESOS CON CONMUTACIÓN EN EL MODO DE OPERACIÓN: APLICACIONES A PLANTAS SOLARES E INVERNADEROS

**Participantes:** Grupo de Inv. “Automática, Electrónica y Robótica” y Plataforma Solar-CIEMAT (CIESOL, Univ. de Almería). Proyecto coordinado con Universidades de Sevilla (coordinador) e INTA.

**Contactos:** M. Berenguel ([beren@ual.es](mailto:beren@ual.es)); L. Yebra, [luis.yebra@psa.es](mailto:luis.yebra@psa.es).

**Fuente de financiación:** MEC

**Duración prevista:** Octubre 2007 – Agosto 2010

**Situación:** En curso

**Antecedentes:** Este proyecto se va a conformar como una continuación natural del proyecto CJPROS (CICYT-DPI2004-07444-C04-04) donde se ha llevado a cabo el diseño de sistemas de control jerárquico para procesos en funcionamiento discontinuo. Los resultados alcanzados en dicho proyecto sirven de base para la siguiente propuesta.

**Objetivos:** El subproyecto se centra en el desarrollo de conceptos y métodos de control predictivo jerárquico para procesos no lineales caracterizados por la existencia de escalas de tiempo en sus dinámicas características y conmutaciones en el modo de operación, debidas a cambios de la fuente que aporta la energía principal al proceso bajo control, bien sea por cambio de actuador o porque se disponga de sistemas de apoyo o almacenamiento, que se pueden activar durante el régimen nominal cuando las condiciones de operación o los requisitos de control así lo requieran. Dada la naturaleza de las plantas industriales sobre las que se quieren ensayar los esquemas de control desarrollados (plantas solares e invernaderos), se prestará especial interés a estructuras de control predictivo con conmutaciones en el modo de operación que hagan uso de modelos bilineales incluyendo una descripción de perturbaciones medibles.

**Resultados durante 2008:** Se han publicado/aceptado 9 artículos en revistas, 10 en congresos y se ha defendido una tesis doctoral.

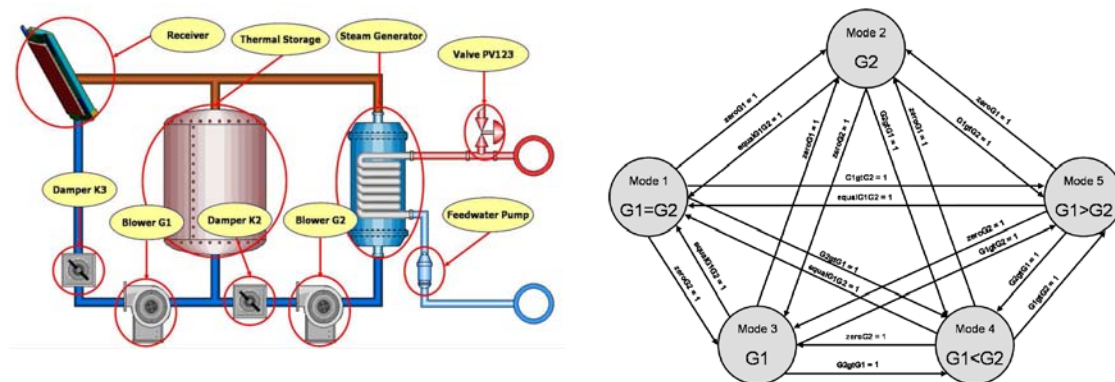


Figura 4.1. Modelo híbrido de una planta termosolar de receptor central

#### Abstract

*This project deals with the control of interconnected nonlinear systems with diverse operation modes. Such systems appear naturally in a wide class of industrial processes and require*



*specific control strategies. The analysis and synthesis of control systems within this context is a complex task because of the nonlinear dynamics and switching between operation modes. This switching nature can be due to modifications in the configuration of the system, product specifications, failure of components, disturbances, etc. Virtually, nowadays all complex industrial processes exhibit this multimodal behaviour. In spite of the potential industrial benefits of the design of control strategies that explicitly take into account the interconnected and switched nature of industrial processes, the state-of-the-art includes few results about them, usually incomplete and often heuristic. The three basic objectives of the coordinated project are:*

- 1. The development of methodologies for the modelling and identification of interconnected processes with diverse operating modes. Especially relevant it will be the calculation of reduced models suited for analysis and design.*
- 2. Development of predictive control strategies for this class of industrial processes, where different hierarchical levels will be considered. The main focus will be on the development of strategies with potential applicability in complex industrial processes.*
- 3. Validation of the different strategies in a good number of experimental plants with clear potential industrial relevance. This will facilitate the development of the different tasks of the project over realistic conditions. Systems in which the energy comes from different sources (that should be combined for an optimal and safe exploitation) will be considered.*

*The fulfilment of the preceding goals would be a significant contribution in this field and it would have a real impact on this kind of industrial processes. During 2008, the main results have been 9 journal papers, 10 conference papers and 1 PhD Thesis dissertation.*

#### **Publicaciones.**

C.M. Cirre, M. Berenguel, L. Valenzuela, R. Klemmou. Reference governor optimization and control of a distributed solar collector field. *European Journal of Operational Research*, in press, **2008**.

J.L. Guzmán, K. Astrom, S. Dormido, T. Hagglund, Y. Piguet, M. Berenguel. Interactive learning modules for control. *IEEE Control Systems Magazine*, pp. 118-134, **2008**.

M.R. Arahal, C.M. Cirre, M. Berenguel. Serial Grey-Box model of a stratified thermal tank for hierarchical control of a solar plant. *Solar Energy*, vol. 82, pp. 441-451, **2008**.

L. Roca, L. Yebra, M. Berenguel, D. Alarcón. Modeling of a solar seawater desalination plant for automatic operation purposes. *Journal of Solar Energy Engineering*, vol. 130, pp. 041009-1-041009-8, **2008**.

J.D. Álvarez, J.L. Guzmán, L.J. Yebra, M. Berenguel. Hybrid modeling of central receiver solar power plants. *Simulation modelling practice and theory*, in press, **2008**.

J.D. Álvarez, L. Yebra, M. Berenguel. Adaptive repetitive control for resonance cancellation of a distributed solar collector field. *International Journal of Adaptive Control and Signal Processing*, DOI: 10.1002/acs.1045, **2008**.

L.J. Yebra, M. Berenguel, S. Dormido, E. Zarza. Object oriented modelling and simulation of parabolic trough collectors with Modelica. *Mathematical and Computer Modelling of Dynamical Systems*. In press, **2008**.

H. Maciejewski, L. Valenzuela, M. Berenguel, J.F. Reche, K. Adamus, M. Jarnicki. Performing direct steam generation solar plant analysis through data mining. *Journal of Solar Energy Engineering – Transactions of the ASME*, vol. 130, pp. 044503-1-044503-3, **2008**.

A. Pawlowski, J.L. Guzmán, F. Rodríguez, M. Berenguel, J. Sánchez, S. Dormido. Simulation of greenhouse climate monitoring and control with wireless sensor network and event-based control. *Sensors*, in press, **2008**.

J.L. Guzmán, K.J. Astrom, S. Dormido, T. Hagglund, Y. Piguet, M. Berenguel. Interactive Learning Module: Basic Modelling and Identification Concepts. IFAC World Congress, paper 694, Seoul, Corea, **2008**.

J.K. Gruber, F. Rodríguez, C. Bordons, J.L. Guzmán, M. Berenguel. A volterra model fo the greenhouse temperature using natural ventilation. IFAC World Congress, paper 1866, Seoul, Corea, **2008**.

L. Roca, J.L. Guzmán, M. Berenguel, L. Yebra. A Hybrid model for a solar desalination plant. *Controlo 2008*, paper 052, UTAD-Vila Real, Portugal, **2008**.

R. González, F. Rodríguez, J.L. Guzmán, M. Berenguel. Compensation of sliding effects in the control of tracked mobile robots, *Controlo 2008*, paper 107, UTAD-Vila Real, Portugal, **2008**.

A. Pawlowski, J.L. Guzmán, F. Rodríguez, M. Berenguel, J. Sánchez, S. Dormido. Event-based control and wireless sensor network for greenhouse diurnal temperature control: A simulated case study, 13<sup>th</sup> IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, Hamburg, Germany, **2008**.

M. Nachidi, F. Rodríguez, F.R. Tadeo, J.L. Guzmán, R. González. Modeling and control of nocturnal temperature inside a greenhouse using Takagi-Sugeno fuzzy models. *Controlo 2008*, UTAD, Portugal, **2008**.

A. Baños, J.C. Moreno, M. Berenguel. PI+CI compensation with variable reset: application on solar collector fields, Proc. 34<sup>th</sup> annual conf. of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON08), Orlando, Florida, EEUU, **2008**.

L. Martín, F. Rodríguez, L.F. Zarzalejo, J.L. Guzmán, J. Polo, A. Navarro, M. Berenguel. Predicción de la irradiancia solar aplicada al control óptimo de crecimiento de cultivos bajo invernadero. IV Congreso Ibérico y IX Congreso Iberoamericano de Energía Solar (CIES 2008), Vigo, España, **2008**.

A. Pawlowski, J.L. Guzmán, F. Rodríguez, M. Berenguel, J. Sánchez, S. Dormido. Control basado en eventos de la temperatura de un invernadero. XXIX Jornadas de Automática, Tarragona, España, **2008**.

J.A. Sánchez, F. Rodríguez, J.L. Guzmán, M. Berenguel, M.D. Fernández. Modelado de la transpiración de un cultivo de tomate bajo invernadero para el diseño de sistemas de control de riego. XXIX Jornadas de Automática, Tarragona, España, **2008**.

**Tesis Doctoral.** Estrategias de control de intercambiadores de calor en plantas termosolares. José Domingo Álvarez Hervás. junio **2008**. DIRECTORES: Manuel Berenguel Soria y Luis José Yebra Muñoz.

#### **4.2 CONTRATO CON COBRA INSTALACIONES Y SERVICIOS S.A. “Diseño de modelos y estrategias de simulación, control, ensayo y monitorización del lazo Senertrough”**

**Participantes:** Grupo de Inv. “Automática, Electrónica y Robótica” (CIESOL, Univ. de Almería), Grupo de Energía Solar Térmica de Media Temperatura (CIESOL, Plataforma Solar de Almería-CIEMAT)

**Contactos:** M. Berenguel ([beren@ual.es](mailto:beren@ual.es)), Eduardo Zarza ([Eduardo.Zarza@psa.es](mailto:Eduardo.Zarza@psa.es)), Luis Yebra ([Luis.Yebra@psa.es](mailto:Luis.Yebra@psa.es)).

**Fuente de financiación:** COBRA S.A.

**Duración prevista:** Julio 2007 – Diciembre 2008.

**Situación:** Finalizado.

**Antecedentes:** El alcance de la colaboración resumida en este documento consiste en el asesoramiento en la etapa de ensayos y monitorización del colector cilindro parabólico SENERTROUGH y una unidad móvil de ensayo de colectores, que permitirá certificar los valores esperados de rendimiento térmico de un lazo, así como validar su operación y mantenimiento en plantas solares comerciales.

**Objetivos:** Asesoramiento en:

- Pruebas de rendimiento, destinadas a caracterizar el lazo SENERTROUGH desde el punto de vista de la eficiencia de conversión (ensayos ópticos y térmicos).
- Pruebas de operación, enfocadas al estudio del comportamiento del lazo en diferentes modos de operación.
- Pruebas de mantenimiento.
- Monitorización del sistema para caracterizar su comportamiento y relación con rendimiento, operación y mantenimiento.

**Resultados durante 2008:** No procede

**Publicaciones:** No procede

### **4.3 PROYECTO SINGULAR ESTRATÉGICO SOBRE ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA Y FRÍO SOLAR (PSE-ARFRISOL). ACTIVIDADES DEL GRUPO DE MODELADO Y CONTROL AUTOMÁTICO EN EL PROYECTO**

**Participantes:** Empresas Constructoras: ACCIONA , DRAGADOS, FCC y OHL. Empresas fabricantes de captadores solares y módulos fotovoltaicos: ISOFOTON, GAMESA, ATERSA y UNISOL. Empresas fabricantes de bombas de absorción para ser acopladas a captadores solares: UNISOL. Empresas instaladoras de captadores solares y módulos fotovoltaicos: ATERSA, ACCIONA, GAMESA, ISOFOTON y UNISOL. Empresas e ingenierías de diseño de instalaciones solares térmicas y fotovoltaicas ATERSA, ACCIONA , GAMESA, ISOFOTON y UNISOL. Grupos de Investigación: CIEMAT y Universidades: de Almería y de Oviedo. Coordinador: CIEMAT .

**Contactos:** M. R. Heras ([Mrosario.heras@ciemat.es](mailto:Mrosario.heras@ciemat.es)), M. J. Jiménez ([Mjose.Jimenez@psa.es](mailto:Mjose.Jimenez@psa.es))  
F.J. Batlles ([fbatlles@ual.es](mailto:fbatlles@ual.es)). **Grupo de modelado y control automático:** M. Berenguel ([beren@ual.es](mailto:beren@ual.es))

**Fuente de financiación:** 50% MEC y las CCAA

**Duración prevista:** Mayo 2005 – Diciembre 2011

**Situación:** En curso.

**Antecedentes:** ver sección 7.1.

**Objetivos:** ver sección 7.1

**Resultados durante 2008:** Ha sido necesario realizar una serie de actividades indirectas relacionadas con el conjunto de aplicaciones de software y modificar ciertos esquemas de interconexión entre equipos para poder crear la base necesaria para realizar las tareas de control. A continuación se citan algunas de ellas:

- Se necesitaba capturar datos con distinto tiempo de muestreo de forma simultánea a la captura actual. Para ello se desarrolló un software con bajo consumo que se encarga de dicha labor sin interferir con el software global de captura de datos desarrollado anteriormente.
- No existía ningún entorno para introducir los algoritmos obtenidos y ejecutarlos de forma que actúen sobre el sistema de frío solar, por lo que se ha desarrollado una base software que integra las comunicaciones para poder realizar dicha tarea.
- Se cuenta con dos equipos hardware que adquieren datos distintos, pero cuyo cruce puede resultar de interés para afinar las mediciones utilizadas para el control. Por ello se han planteado diversas formas de interconectar ambos conjuntos de datos en tiempo real, optándose por comunicar ambos equipos desarrollando un software específico para dicha tarea.

Además de las relativas a la instalación y puesta en funcionamiento del sistema de monitorización, cabe destacar las siguientes actividades en 2008:

**4.3.1** Los modelos obtenidos basados en balances de masa y energía son no lineales, por lo que ha sido necesario linealizarlos en torno a un punto de operación, obteniendo modelos que sólo son válidos para trabajar en un cierto rango alrededor del punto de trabajo seleccionado, ya que cuanto más se alejan del mismo, más difiere el comportamiento entre el sistema lineal y el no lineal.

**4.3.2** Se ha realizado un estudio comparativo para asegurar que el modelo lineal aproxima correctamente al modelo no lineal, confirmándose mediante simulación y comprobando que el

rango dentro del que el sistema va a trabajar ordinariamente no provoca desviaciones excesivas del sistema lineal con respecto al no lineal (ver Fig.4.2.a).

**4.3.3** Se realizaron nuevas pruebas con la caldera, forzándola en la experimentación para comprobar su comportamiento en función de la forma de uso y estudiando la respuesta con un periodo de muestreo inferior al habitual. Bajo estas condiciones se encontró una peculiaridad relacionada con el arranque, consistente en que cuando la caldera se enciende, tras el primer incremento de temperatura que esto provoca, ocurre una segunda subida similar a la anterior pasados trescientos segundos aproximadamente. Este repunte no volverá a ocurrir hasta que no se apague la caldera y se vuelva a arrancar. Con la nueva información obtenida se ha procedido a modelar la caldera mediante funciones de transferencia de sus distintos procesos, debido a que existían multitud de parámetros de su modelo físico que no se podían sintonizar correctamente debido a que no se tiene suficiente información interna de la misma. Para ello se ha añadido la señal de encendido/apagado de la caldera, una entrada que previamente era esencial para el comportamiento híbrido del sistema, pasando a ser una señal esencial para modelar también la propia respuesta de la caldera. En la figura 4.2.b se puede observar el comportamiento real de la caldera, con el efecto de doble subida indicado, y el seguimiento en la salida del nuevo modelo de dicho fenómeno.

**4.3.4** Se sometió a la máquina de absorción a un proceso de identificación. El modelo basado en ecuaciones de balance de energía de la máquina de absorción necesitaba sintonizar un conjunto de parámetros sobre los que no se tiene información real en la planta de CIESOL, por lo que se optó por someterla a un proceso de identificación para obtener un nuevo modelo de la misma, realizando previamente un estudio para reconocer las variables dependientes e independientes del sistema. Para utilizar este método es necesario crear una señal de entrada al sistema lo más similar posible al ruido blanco, pero en este caso no era posible debido a las restricciones del sistema, para simular una entrada lo más estocástica posible, se han utilizado los datos adquiridos durante días en que hubo actividad de la caldera y amplios rangos de la temperatura de entrada a la máquina de absorción en cortos periodos de tiempo. Con estos datos se han obtenidos distintos modelos que aproximan su comportamiento dentro de lo aceptable para su control (ver fig.4.2.c)

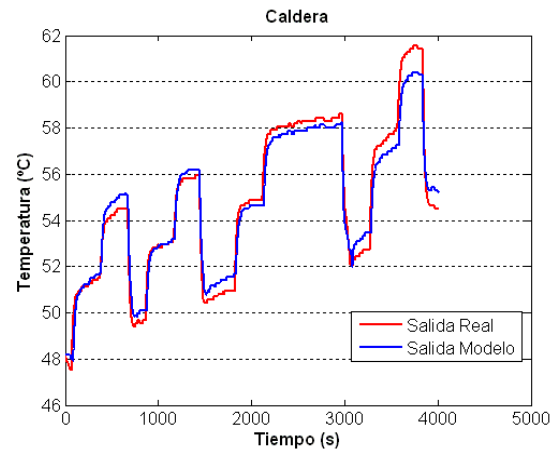
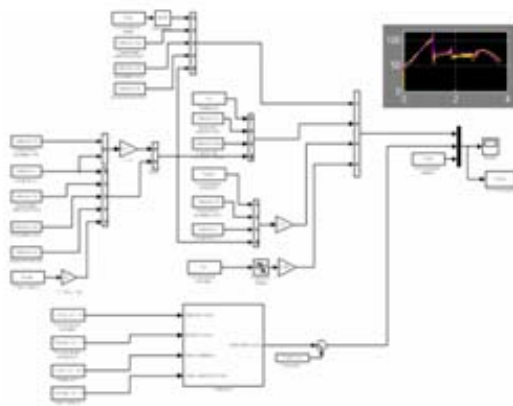
**4.3.5** Al obtener nuevos modelos, han tenido que resintonizarse (en el caso de la caldera) y validarse (tanto en el caso de la caldera como en el de la máquina de absorción). La resintonización y validación se realizaron con sets de datos distintos (50%-50% del total de datos utilizados), condición necesaria para una validación correcta.

**4.3.6** Una vez obtenidos los modelos de que consta el sistema de frío solar, se convirtieron todos los submodelos de cada subsistema modelos de espacio de estados, integrándolos en un único espacio de estados para cada uno de ellos y finalmente, integrando los espacios de estados de cada uno de los subsistemas en el espacio de estados global del sistema de frío solar.

**4.3.7** Se validó el espacio de estados obtenido comparándolo con el comportamiento del sistema compuesto del que se partía, que ya estaba validado previamente. Ambos modelos presentaban el mismo comportamiento, ya que sus representaciones son equivalentes, pero las pruebas confirmaron que no se cometió ningún error durante los múltiples pasos de conversión e integración de submodelos (ver fig.4.2.d)

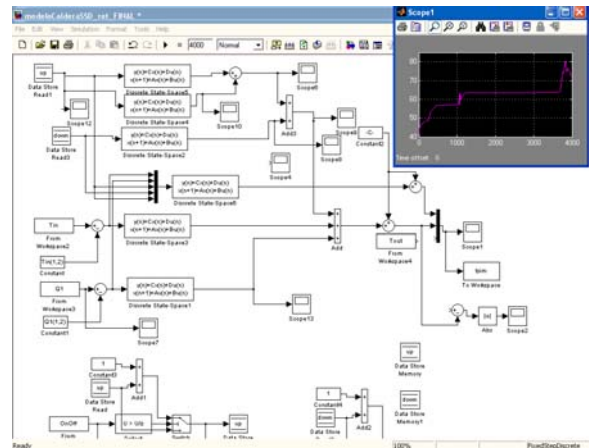
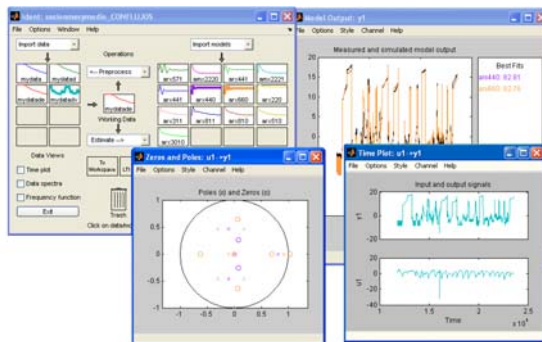
**4.3.8** Se desarrollaron los scripts para automatizar todo el proceso, evitando tener que realizar todos los pasos realizados para la obtención del modelo en espacio de estados a partir de los modelos lineales si se modificasen los parámetros de los modelos lineales. Estos scripts están preparados para crear el espacio de estados teniendo en cuenta tanto los retardos de cada subsistema como sus factores de ajuste.

**4.3.9** Actualmente se están implementando los modelos obtenidos en HYSDEL, lenguaje que permite modelar sistemas híbridos descritos por interconexiones de sistemas con una dinámica lineal, autómatas, condiciones y reglas de lógica proposicional. Al realizar la implementación en este lenguaje se provee al modelo de toda la lógica que necesita para su comportamiento híbrido y se garantiza que el cambio entre modos de operación será continuo. Además facilita la obtención de un modelo MLD que puede utilizarse para múltiples propósitos, como resolver problemas de optimización.



a) Comparación entre modelo lineal y no lineal.

b) Seguimiento de caldera forzando arranques.



c) Ident. Estudio de los modelos identificados .

d) Comprobando una correcta integración en ss.

**Figura 4.2.** Diferentes actividades de MODELADO Y CONTROL AUTOMÁTICO llevadas a cabo en proyecto singular estratégico sobre arquitectura bioclimática y frío solar (PSE-ARFRISOL)

**Abstract**

*The main activities during 2008 in this project have been related to the installation and set-up of the monitoring system and to the testing, modeling and simulation of the solar-cooling system, using an hybrid modeling approach. Preliminary results have been obtained at present.*

**Publicaciones.**

No se han realizado publicaciones en 2008.

## **5. Actividades en Evaluación del Recurso Solar**

### **5.1. EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS ENERGÉTICO SOLARES EN ZONAS DE TOPOGRAFÍA COMPLEJA MEDIANTE EL USO COMBINADO, MODELOS DIGITALES DEL TERRENO Y REDES NEURONALES ARTIFICIALES**

**Participantes:** Grupo de Investigación “Recursos Energético Solares y Climatología” (TEP165 del Plan Andaluz de Investigación).

**Contactos:** [fbatlles@ual.es](mailto:fbatlles@ual.es).

**Fuente de financiación:** Ministerio de Ciencia y Tecnología

**Duración prevista:** 13-12-2004 a 30-06-2008

**Situación:** Concluido.

**Antecedentes:** Uno de los factores determinantes para el desarrollo económico e industrial de un país es poder compatibilizar el abastecimiento energético con la necesidad de cumplir con unos requerimientos medioambientales cada día más restringidos. En este sentido las energías renovables cuentan con una importante ventaja competitiva ya que, además de aprovechar recursos propios inagotables, presentan características destacadas como son la ausencia de emisiones de dióxido de carbono, la ausencia de contaminación atmosférica y la escasa repercusión sobre el paisaje, contribuyendo, por tanto, a disminuir el efecto invernadero y la lluvia ácida. Las energías renovables periódicamente ponen a disposición del hombre energía útil. Es decir, se renuevan de forma continua en contraposición con los combustibles fósiles como el petróleo, gas, uranio, de los que existen unas determinadas disponibilidades agotables en un plazo más o menos largo. Dentro de las energías renovables, la energía solar térmica y la energía solar fotovoltaica juegan un papel fundamental. Dichas energías se basan en el aprovechamiento directo de la radiación solar. Una adecuada compresión y modelización de la radiación solar es fundamental en la evaluación de los recursos energéticos renovables, en las modelizaciones climáticas y en las hidrológicas. En particular, en lo que se refiere al aprovechamiento energético de la energía solar, la difusión a gran escala de dicho aprovechamiento depende en gran medida de una estimación precisa de los recursos solares disponibles, y no sólo en áreas donde existen estaciones radiométricas, normalmente grandes ciudades. El uso combinado del recurso solar evaluado junto a otro tipo de información (necesidades energéticas, distancia red eléctrica, etc.) puede ser introducido en sistemas de información geográfica (SIG), que permita una adecuada gestión y toma de decisiones para la utilización de los recursos energéticos disponibles

**Objetivos:** El objetivo principal de este proyecto consiste en modelizar y estimar la energía solar disponible en distintos puntos de topografía compleja, y de forma continuada en el tiempo. Para se ha empleado una metodología basada en Redes Neuronales Artificiales, una derivación de la inteligencia Artificial, que usará como variables de entrada la información contenida en un Modelo Digital del Terreno de (20 x 20)m (coordenadas de la estación, altitud, pendiente y orientación de la ladera de la colina). También se estimará la radiación solar utilizando imágenes proporcionadas por el satélite METEOSAT. En una segunda fase se compararán los resultados proporcionados por ambas técnicas en la estimación de la radiación global diaria. En la última fase del proyecto se generarán mapas topográficos de radiación solar con una resolución de (20x20)m

**Resultados durante 2008:**

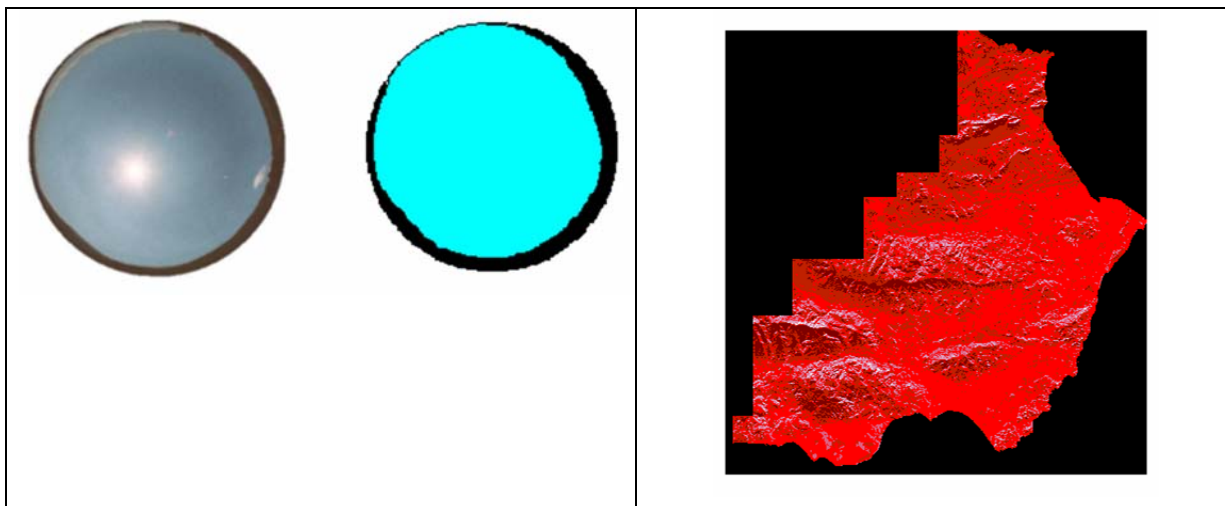
a) Estimación de la radiación global utilizando imágenes de satélite. En una primera fase hemos estimado la radiación global diaria para cada una de las estaciones a partir de imágenes del satélite METEOSAT, utilizando una modificación del modelo HELIOSAT. Los resultados ponen de manifiesto que se puede estimar la radiación global en todas las estaciones con un error cuadrático medio inferior al 20% y una desviación media inferior al 7%. También se han comparado los resultados proporcionados por el modelo HELIOSAT con los proporcionados por el programa Solar Analyst. Se ha llegado a la conclusión que en lugares que presenten una topografía compleja los resultados proporcionados por los modelos digitales del terreno son mejores que los proporcionados por las imágenes de satélite. Estos resultados han sido analizados en el trabajo “Estimation of global daily irradiation in complex topography zones using digital models and METEOSAT images: Comparison of the results (Batlles et al 2008).

b) Estimación de radiación solar utilizando Redes Neuronales Artificiales. La técnica de Redes Neuronales la hemos utilizado en diferentes estudios. En primer lugar la hemos utilizado para estimar la radiación global diaria en superficie inclinada, los resultados de esta investigación se reflejaron en los trabajos “Modelado de la radiación solar global diaria sobre superficie inclinada mediante Redes Neuronales Artificiales” (Bosch et al., 2006) y “Técnicas de inteligencia artificial aplicadas a la evaluación de la radiación solar sobre superficie inclinada” (Bosch, J.L et al., 2006). También hemos elaborado un modelo de Red Neuronal para estimar la radiación global diaria en zonas de topografía compleja utilizando un Modelo Digital del Terreno de (20x20 ) m. Los valores obtenidos por el modelo de Red Neuronal han sido comparados con medidas experimentales de 14 estaciones situadas en el Parque Natural de Sierra Nevada, con diferentes características topográficas. Fruto de este estudio ha sido el trabajo “Daily solar irradiation estimation over mountainous surfaces using Artificial Neural Networks”(Bosch et al., 2006). Por último hemos estimado la radiación ultravioleta con un modelo de Red Neuronal y con un modelo de regresión lineal. Los resultados ponen de manifiesto que el modelo de RNA proporciona mejores resultados. Los resultados de esta investigación se reflejaron en el trabajo “Estimate of daily solar ultraviolet radiation using statistical models and artificial neural networks”(Barbero et al., 2006).

c) Generación de mapas topográficos de Radiación Global utilizando Modelos Digitales del Terreno: Uno objetivo importante dentro del proyecto ha sido el desarrollo de una metodología para realizar un mapa de radiación solar utilizando un Modelo Digital del Terreno. En este sentido en primer lugar hemos analizado los parámetros atmosféricos más importantes para estimar la radiación solar utilizando el programa informático Solar Analyst, posteriormente generamos los mapas de radiación con dicho programa. Los resultados ponen de manifiesto que podemos estimar la radiación global diaria en condiciones de cielo despejado con un error cuadrático del orden del 11%. Los resultados de esta investigación han sido analizados en el trabajo “Determination of atmospheric parameters to estimate global radiation in areas of complex topography. Generation of a global irradiation map” (Batlles et al., 2008). Posteriormente desarrollamos un modelo para estimar la radiación global diaria en condiciones de cielo despejado teniendo en cuenta el Modelo Digital del Terreno. En primer lugar obtuvimos el horizonte de un determinado lugar, para poder obtener los ángulos de salida y puesta de sol y, posteriormente estas variables las introducimos en el modelo desarrollado de radiación global (López et al., 2007). Los resultados ponen de manifiesto que con esta metodología podemos estimar la radiación global con un error cuadrático medio del orden del 6% y una desviación media del orden del 2%. Posteriormente utilizamos el modelo para desarrollar un mapa de radiación global de la provincia de Almería para cada uno de los meses del año. Los resultados de este trabajo se han reflejado en la Memoria de Investigación presentada por D. Juan Luis Bosch Saldaña (becario FPI asignado a este proyecto) para optar al Diploma de Estudios



Avanzados, que ha superado con la clasificación de sobresaliente y, cuyo tutor es Francisco Javier Batlles Garrido responsable del presente proyecto.



**Figura 5.1.** Mapa topográfico de radiación global desarrollado con el método propuesto. Basado en la generación de horizontes. La figura de la izquierda representa el horizonte de una estación realizada con un objetivo ojo de pez y la otra generada por el modelo desarrollado

### Abstract

*The use and transformation of the energy is one of the activities with the greatest environmental impact associated with anthropogenic activities. Although the significant advances along the last decades in the limitation of greenhouse gases emissions, they do persist significant problems related to the energetic production activities. It seems, therefore, reasonable to attempt to develop non-contaminant energy production systems or, at least, to reduce the impact of the current activities. The use of renewable energies is a clear alternative to the use of fossil fuel. The renewable energies have the advantage of a reduced environmental impact, compared to other sources of energy, and, additionally, and that they are local-based resources and, therefore, allows the reduction of the dependence from foreign resources. The use of the renewable energy resources would lead, in the future, to a reduction of the current costs of this kind of technology. The downward solar radiation flux is the primarily source of all the rest of energy. The characteristics of the solar radiation are its enormous temporal and spatial variability. These two characteristics must be taken into account in the using of this source of energy. Particularly, it is important to quantify the solar radiation received at a particular place of the earth surface and their relationship with other environmental parameters (temperature, moisture, etc). The complexity of the phenomenon involved in the solar radiation transfer through the atmosphere is one of the main problems when estimating the solar energy availability. At local scales, the topography is the main factor which rules the spatial and temporal distribution of the solar radiation at the surface. The variability in elevation, orientation, slope and shadowing gives rise to strong spatial gradients in the measured solar radiation, and, therefore, to strong gradients in variables as temperature of soil moisture. Nevertheless, the networks of radiometric stations can not usually catch this spatial variability. Satellite data can give estimations of the solar radiation over wide areas and continuously in time, but the spatial resolutions is poor. The artificial intelligence is new study area, really powerful in the context of computation. This new methodology allows the use complex Intelligent Systems to solve numerous problems of*

*real life. This methodology has been successfully applied to meteorology, medicine, agriculture or engineering applications.*

*The aim of this project is to develop a methodology to estimate and forecast the components of the solar radiation (diffuse and direct) in complex-topography areas, continuously in time. To this end, a methodology based on artificial neural networks (ANN), which comes from the Artificial Intelligence theory, will be employed, using as input variables information contained in digital elevation models and solar radiation satellite estimates. Results will be tested against ground measures obtained during field campaign carry out in areas of Andalusia and Castilla-León. Firstly, METEOSAT and NOAA (AVHRR) satellites solar radiation estimates and high resolution topographic data will be integrated to obtain high resolution solar radiation estimates. Secondly, the ANN methodology will be applied to obtain a model which provides the components of the solar radiation based on the topographic and satellite estimates. This allow obtaining the solar energy resources of a location. The ANN will be also employed to forecast future values of the solar energy based on former values. Estimates will be tested against ground values. The results of this project would useful to obtain high resolution diffuse and direct solar radiation maps. It should be noted the importance of the separate knowledge of these components of the solar radiation to solar-energy applications.*

*The inclusion in the future of the results of this project in a Geographic Information Systems of the study area, which contains other information about the study area, would be of interest for a better management of the energy resources of this area and will allow using the results in other field, besides solar energy, as hydrological other environmental applications. The proposed project methodology would be applied to other areas, providing the using of digital elevation models of these locations. Finally, we want to highlight that the ENDESA S.A. and the Plataforma Solar of Almería enterprise is committed to the development of this project and have expressed it interest in their derived applications.*

**Publicaciones:**

Gabriel López and Chrstian A. Gueymard, Clear-sky luminous efficacy determination using artificial neural net works. *Solar Energy*, 81, 929-939 (2008).

Batlles, F.J., Bosch, J.L., Tovar-Pescador, J., Martínez-Durbán, M., Ortega, R., Miralles, I. Determination of atmospheric parameters to estimate global radiation in areas of complex topography: Generation of global irradiation map. *Energy Conversion & Management*, 49 336-345 (2008).

Bosch, J.L., López, G., Batlles, F.J. Daily solar irradiation over a mountainous area using artificial neural networks. *Renewable Energy*, 33, 1622-1628 (2008).

Polo, J., Zarzalejo, L. F., Salvador, P. and Ramírez, L.. Angstrom turbidity and ozone column estimations from spectral solar irradiance in a semi-desertic environment in Spain. *Solar Energy*. In press, (2008).

Espinar, B., Ramírez, L., Drews, A., Beyer, H. G., Zarzalejo, L. F., Polo, J. and Martín, L., Analysis of different comparison parameters applied to solar radiation data from satellite and German radiometric stations. *Solar Energy*. In press, (2008).

Martín, L., Rodríguez, F., Zarzalejo, L. F., Guzmán, J. L., Polo, J., Navarro, A. and Berenguel, M., 2008. Predicción de la irradiancia solar aplicada al control óptimo de crecimiento de cultivos bajo invernadero. *Proceedings of: XIV Congreso Ibérico e IX Iberoamericano de Energía Solar*, Vigo (España). pp. 1179-1184.

Martín, L., Zarzalejo, L. F., Polo, J., Navarro, A. and Marchante, R., **2008**. Comparación de técnicas predictivas basadas en series temporales aplicadas al índice de claridad semidiario. Proceedings of: XIV Congreso Ibérico e IX Iberoamericano de Energía Solar, Vigo (España). pp. 1173-1178.

Martín, L., Zarzalejo, L. F., Polo, J. and Ramírez, L., **2008**. Solar radiation forecasting with non-linear statistical techniques and qualitative predictions from Spanish National Weather Service. Proceedings of: Eurosun 2008, Lisboa (Portugal).

Polo, J., Zarzalejo, L. F., Martín, L. and Navarro, A. A., **2008**. Corrección del coeficiente de turbidez de Linke a partir de imágenes de satélite Meteosat y su aplicación en la estimación de la irradiancia directa para condiciones de cielo despejado. Proceedings of: XIV Congreso Ibérico e IX Iberoamericano de Energía Solar, Vigo (España). pp. 1137-1142.

## 5.2 PROYECTO “PREDICCIÓN Y EVALUACIÓN DE RECURSOS ENERGÉTICO SOLARES UTILIZANDO TÉCNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

**Participantes:** Grupo de Investigación “Recursos Energético Solares y Climatología”

**Contactos:** Francisco Javier Batlles ([fbatlles@ual.es](mailto:fbatlles@ual.es)).

**Fuente de financiación:** Ministerio de Educación y Ciencia

**Duración prevista:** 01/10/2007 al 30/09/2010

**Situación:** En desarrollo

**Antecedentes:** La predicción de la irradiancia solar, aún tan sólo de un día para otro, es una labor en extremo compleja. Parte de las dificultades surgen de la dependencia de la radiación solar con las nubes y las condiciones meteorológicas, basada intrínsecamente en procesos físicos no lineales. Otra de las dificultades está relacionada con la imprecisión de la predicción meteorológica por medio de modelos numéricos, debido igualmente a la complejidad de los procesos no lineales involucrados, y también debido a las dificultades de estimar en el futuro las propiedades ópticas de la atmósfera. Los modelos de mesoescala de predicción del tiempo utilizan por lo general algoritmos paramétricos de la radiación, ya que ésta es la principal fuente de energía en los procesos atmosféricos. Así, por ejemplo, el modelo Eta (<http://www.atmos.umd.edu/~berbery/etasam/>) empleado en la predicción del tiempo en el continente sudamericano, además de proporcionar la predicción para una diversidad de variables meteorológicas, proporciona información futura de la radiación solar en superficie. Sin embargo, tales predicciones son considerablemente sobreestimadas.

**Objetivos:** El objetivo fundamental de este proyecto va a consistir en predecir la radiación solar que va a incidir en una determinada localidad y en un determinado momento. Para ello se empleará una metodología basada en Redes Neuronales Artificiales, una derivación de la Inteligencia Artificial, que utilizará como principales variables de entrada datos meteorológicos e información de la cubierta nubosa. Las medidas de la cubierta nubosa se realizarían mediante una cámara de nubes, que fotografiaría cada 10 minutos la bóveda celeste. Dichos registros se completarían con medidas de viento y presión. El análisis de la evolución temporal conjunta de las variables anteriores utilizando las técnicas de caos y de RNA, podría entonces permitir predecir con bastante exactitud los niveles de radiación en intervalos de tiempo relativamente cortos (típicamente de varias horas).

**Resultados de 2008:** Durante este año se ha procedido al montaje y puesta a punto del dispositivo experimental, consistente en una cámara de nubes y en una estación de imágenes de METEOSAT última generación. Dicho dispositivo experimental se encuentra ubicado en una de las azoteas del edificio CIESOL También se han desarrollado algoritmos basados en Redes Neuronales Artificiales y en imágenes de satélite para la evaluación y predicción de la radiación solar.

**Abstract**

*The importance of the forecasting of the solar resources is emphasized by the fact the International Energy Agency (IEA) has ceated a work program for improving the knowlwdge of the solar resources. On of the three main activities of this program is related to the improvement of the forecasting techniques of solar resources, in scales from hours to days and seasons. This proyects aims to develop a methodology from estimating and forecasting the solar energy resources in the sourhern area of the Iberian Peninsula. In the next decade a considerable amount solar-electricity will be constructed in this area. To this end, two different methodologies will be employed, with the final purpose that an appropriate integration of the results will provied better results those provide by the individual tecniques. Partyculary we aim to integrate the results provied by:*

- a) Mesoscale Meteorological Models, paricularly the MM5 (Subproyect 1: Universidad de Jaen)*
- b) Techniques based on Artifial Intelligence, as the Neural Networks (Subproyect 2: Universidad de Almería).*

*With this proyect, we aim to contribute to the future of the solar facilities, photovoltaic an thermosolar, in the elecric production system and, therefore, to contribute to the diffusion and success of this type of renewable resources.*

**Publicaciones:**

Bosch, J.L., López, G., Batlles, F.J. Global and direct photosynthetically active radiation parameterization for clear sky conditions. Agricultural and Forest Meteorology, in press (2008).

Bosch, J. L., Zarzalejo, L. F., Batlles, F. J. and López, G., 2008b. Downscaling Meteosat derived solar radiation maps over complex topography areas. Proceedings of: The 4th International Conference on Solar Radiation and Daylighting, Solaris 2008, Hong Kong (China).

López, G., Batlles, F.J., Bosch, J.L. Nonlinear analysis of daily global radiation time series. Proceedings of EUROSUN 2008-1<sup>st</sup> International Conference Solar Heating, Cooling and Building, 384-1 384-6, 2008.

Bosch, J. L., López, G., Batlles, F. J. and Zarzalejo, L. F., 2008a. Mapping solar radiation over complex topography areas combining digital elevation models and satellite images. Proceedings of: Eurosun 2008, Lisboa (Portugal).

**5.3. CONTRATO CON LA EMPRESA MILENIO SOLAR DESARROLLO DE PROYECTO S.L PARA LA REALIZACIÓN DEL PROYECTO “GENERACIÓN DE VAPOR DIRECTA A MÁS DE 500° C”.**

**Participantes:** Grupo de Investigación “Recursos Energético Solares y Climatología

**Contactos:** F. Batlles ([fbatlles@ual.es](mailto:fbatlles@ual.es));

**Fuente de financiación:** MILENIO SOLAR

**Duración prevista:** Enero 2007-Diciembre 2008.

**Situación:** Finalizado

**Antecedentes:** La producción de energía mediante colectores cilindro parabólicos está teniendo un gran desarrollo de en los últimos años, en concreto la producción de electricidad. Para una correcta ubicación de las instalaciones se hace necesario el conocimiento preciso de las componentes de la radiación solar, y más concretamente la radiación directa, que es aquella susceptible de ser concentrada. En el proyecto participan la empresa Endesa Generación de electricidad, la empresa Milenio Solar y el Grupo de Investigación Recursos Energéticos Solares. Dicho proyecto ha sido concedido.

**Objetivos:** El objetivo fundamental de este proyecto es la evaluación de los recursos solares en la comarca del Marquesado (Granada) utilizando Modelos digitales del Terreno y la adaptación de los piranómetros termoelectricos a los fotovoltaicos.

**Resultados durante 2008.** Durante este año nos hemos dedicado a desarrollar una ecuación de ajuste entre un piranómetro fotovoltaico LICOR 200-SZ y un piranómetro termoelectrico Kipp&Zonen, ambos situados en azotea del edificio CIESOL. Para corregir las medidas del sensor fotovoltaico se han utilizado técnicas estadísticas y técnicas basadas en Redes Neuronales Artificiales. También se han comparados los resultados proporcionados por nuestros modelos con los desarrollados por la DLR (Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt. Por último se ha realizado un estudio sobre la influencia de la suciedad de los sensores, en la medida captada por los sensores. Dicho estudio se ha realizado para los piranómetros tanto térmicos, como fotovoltaico, así como para un pirheliómetro. Durante el transcurso del proyecto hemos desarrollado un sistema de transmisión y recepción de datos meteorológicos remotos.

#### **Abstract**

*Direct Normal Irradiation (DNI) is the fundamental resource for concentrating solar power (CSP) plants. Therefore a reliable estimation of DNI is crucial for planning and financing of CSP projects. Currently the most reliable data characterizing the available DNI at specific sites is obtained by ground measurements. The remote location of typical CSP sites requires for low maintenance autarkic measurement systems, the most common of which uses the Rotating Shadowband Pyranometer (RSP) as sensor. This paper presents the latest results of development aiming at increased accuracy of DNI data obtained by RSP Measurement systems.*

*Raw DNI data from RSP measurements suffer from mostly known systematic errors, which can be corrected by dynamic formulas adapting to local conditions and daytime dependent effects. Models of corrections have already been developed by both German Aerospace Center (DLR) and University of Almería (UAL) in the past years. Basing on several years of experience, new models were developed in 2008, which are pronounced in this paper. Both formulas were evaluated using high precision solar measurements (2 axis tracked Pyrheliometer and Pyranometers) as reference. Additionally the sensitivity towards soiling has been investigated with respect to the different Solar Sensing systems - RSP vs. Pyrheliometer and Pyranometers.*

#### **Publicaciones:**

Rosiek, S. and Batlles, F.J. A microcontroller based data acquisition system for meteorological station monitoring. *Energy Conversion & Management*, 49, 3746-3754 (2008).

## **6. Actividades en Química Ambiental**

### **6.1 INNOVATIVE AND INTEGRATED TECHNOLOGIES FOR THE TREATMENT OF INDUSTRIAL WASTEWATER**

**Participantes:** Italian Water Research Institute (coordinador del proyecto), Italia. CIEMAT-PSA (CIESOL-UAL) + 6 otras instituciones de investigación de Países Bajos, Alemania, Reino Unido, Noruega, Suecia, Australia. 9 socios industriales de los mismos países, entre ellos Albaida S.A., España.

**Contactos:** Amadeo R. Fernández-Alba ([amadeo@ual.es](mailto:amadeo@ual.es)); Sixto Malato ([sixto.malato@psa.es](mailto:sixto.malato@psa.es))

**Fuente de financiación:** 6<sup>th</sup> FP-UE (PRIORITY 6.6/3). "GLOBAL CHANGE AND ECOSYSTEMS".

**Duración prevista:** 1 Noviembre 2006 a 31 Octubre 2009.

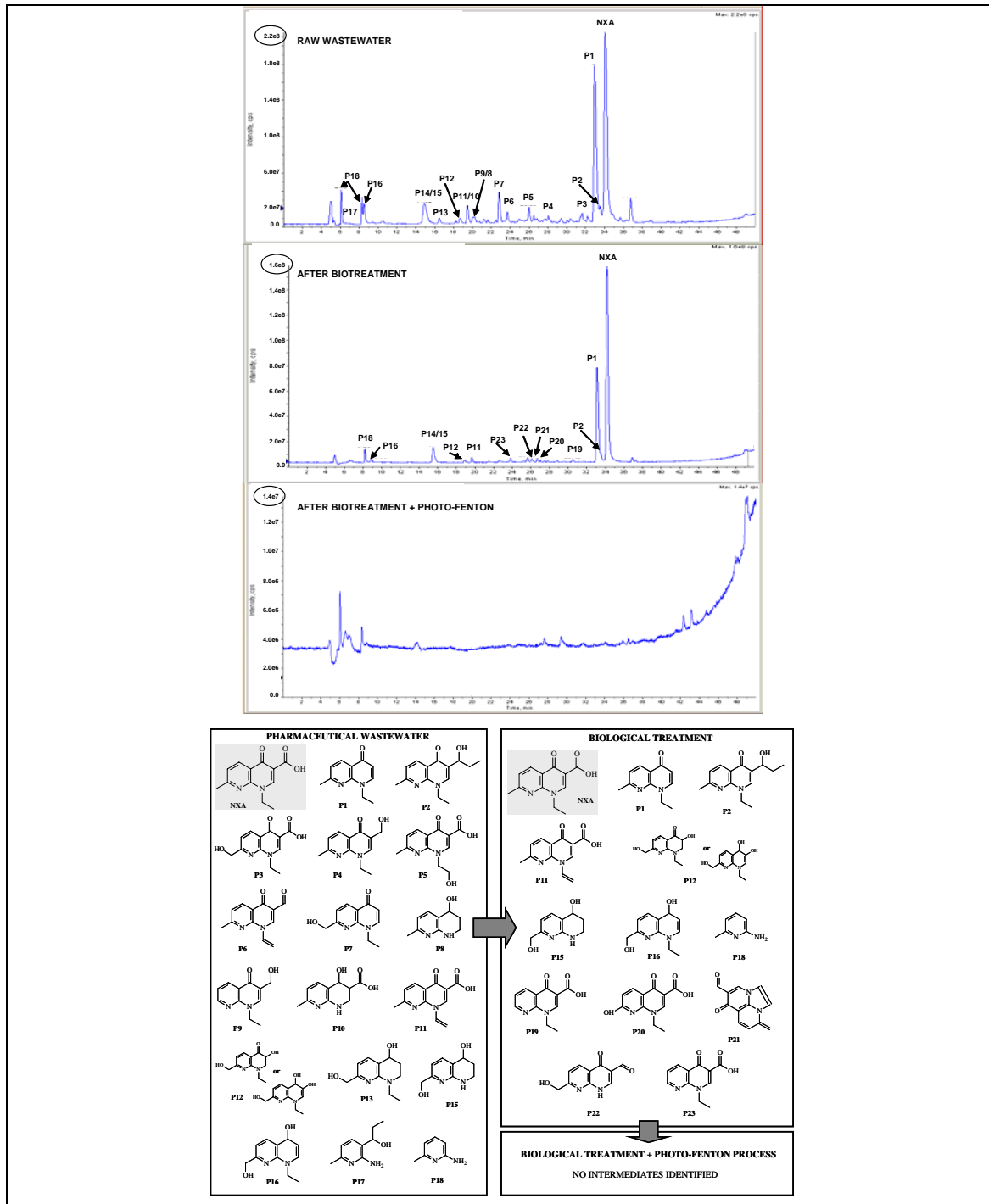
**Situación:** En curso

**Antecedentes:** Los costes de operación de los Procesos de Oxidación Avanzada (P.O.A.) para el tratamiento de aguas conteniendo contaminantes persistentes son elevados. En todo caso, su uso como etapa de pre-tratamiento para aumentar la biodegradabilidad de esas aguas puede estar justificada si el biotratamiento es capaz de degradar los intermedios resultantes del P.O.A.

**Objetivos:** El proyecto Innowatech pretende desarrollar una serie de procesos de tratamiento de aguas residuales procedente de actividades industriales. El trabajo en CIESOL se encuadra en el paquete de trabajo 2 (WP2) del que la PSA es coordinador y CIESOL es subcontratado para desarrollo de métodos analíticos mediante LC-MS y toxicidad que puedan ser aplicados en evaluación de tratamientos de oxidación avanzada y biológicos.

#### **Resultados durante 2008:**

Se ha realizado un estudio muy completo de degradación de aguas residuales industriales de elevada salinidad y conteniendo como contaminante ácido nalidíxico (ACN), de amplio uso en la en la prevención de enfermedades infecciosas. Se han realizado experimentos de degradación solar en plantas piloto utilizando la tecnología de captadores cilindro parabólicos compuestos (CPCs), mediante los que se ha conseguido alcanzar una correcta biodegradabilidad y por tanto poder tratar el agua posteriormente en una depuradora biológica convencional. Pero también se ha demostrado que mediante una biomasa adaptada correctamente se puede tratar el agua previamente, eliminando todos aquellos compuestos biodegradables, y utilizar el tratamiento de foto-Fenton como ajuste final.



**Figura 6.1.** Cromatogramas LC-TOF-MS obtenidos durante el tratamiento consecutivo biológico/foto-Fenton y principales compuestos detectados en el agua residual antes y después de los tratamientos.

### Abstract

*New concepts and processes in industrial wastewater treatment with great potential benefits for the stable quality of effluents, for energy and operational costs saving and for the protection of the environment, as it is the goal of the EU Environmental Technologies Action Plan. This Project focuses on development of aerobic granulation bioreactors; coupling of Advanced*

*Biotreatment and Advanced Oxidation Processes; new membrane processes; Life Cycle Assessments and Life Cycle Costs. CIESOL is focused on further development of solar photo-Fenton. During 2008 it has been demonstrated that a toxic industrial wastewater containing a biorecalcitrant compound (nalidixic acid) can be successfully treated by photo-Fenton as it successfully enhanced the wastewater biodegradability. Suitable selection of the photo-Fenton treatment time and hydrogen peroxide dose necessary to reach the biodegradability threshold made it possible to degrade the remaining DOC in a pilot aerobic bioreactor, and detoxify the wastewater. It has been demonstrated also that real pharmaceutical wastewater containing a large proportion of biodegradable compounds can be successfully treated by biological treatment after a long biomass adaptation period. This biotreatment, coupled with photo-Fenton, degraded the nalidixic acid originally present in the matrix, and eliminated the byproducts generated during biotreatment. These results demonstrate that photo-Fenton applied to finish off biological treatment of real pharmaceutical wastewater is a useful approach.*

**Publicaciones:**

L.A. Pérez-Estrada, A. Agüera, M.D. Hernando, S. Malato, A.R. Fernández-Alba. Photodegradation of malachite green under natural sunlight irradiation: Kinetic and toxicity of the transformation products. *Chemosphere*, 70, 2068-2075, **2008**.

C. Sirtori, A. Zapata, I. Oller, W. Gernjak, A. Agüera, S. Malato. Decontamination industrial pharmaceutical wastewater by combining solar photo-Fenton and biological treatment. *Wat Res.* En prensa, **2008**.

C. Sirtori, A. Zapata, I. Oller, W. Gernjak, A. Agüera, S. Malato. Solar photo-Fenton as finishing step for biological treatment of a real pharmaceutical wastewater. *Env. Sci. Technol.*, en prensa, **2008**.

W. Gernjak, C. Sirtori, A. Zapata, I. Oller, M.I. Maldonado, S. Malato. Combined photo-Fenton/biotreatment for treating saline pharmaceutical wastewater. *Int. Congress and Exhibition Environmental Technology and Renewable Energy. Vienna, Austria.* **31-01-08/01-02-08**. Poster 54.

W. Gernjak, S. Malato, C. Pulgarín, G. Mascolo, A. Pollice, C. Vogelsang, B. Plosz, A. Lopez. Combining advanced oxidation processes and biological treatment. *Int. Congress and Exhibition Environmental Technology and Renewable Energy. Vienna, Austria.* **31-01-08/01-02-08**. Poster 55.

C. Sirtori, A. Zapata, I. Oller, S. Malato, W. Gernjak. Treatment of Industrial Pharmaceutical Wastewater by a Combined Solar Photo-Fenton and Biological Treatment System. *5° European Meeting on Solar Chemistry and Photocatalysis: Environmental Applications. (Palermo October 4th – 8th 2008)*. Oral, Book of abstracts, OP5.6.

A. Agüera, C. Sirtori, A. Zapata, S. Malato, W. Gernjak, A. R. Fernández-Alba. Treatment of Quinolones by Heterogeneous Photocatalysis under Solar Radiation: Intermediates and Toxicity Evaluation. *5° European Meeting on Solar Chemistry and Photocatalysis: Environmental Applications. (Palermo October 4th – 8th 2008)*. Poster, Book of abstracts, PP1.2.

A.G. Trovó, R.F.P. Nogueira, A. Agüera López, A. Fernández-Alba, C. Sirtori, S. Malato. Solar degradation of the antibiotic sulfamethoxazole by photo-Fenton process at a pilot plant scale – identification of intermediate products and toxicity assessment. *5° European Meeting on Solar Chemistry and Photocatalysis: Environmental Applications. (Palermo October 4th – 8th 2008)*. Poster, Book of abstracts, PP5.17.

A. Agüera, C. Sirtori, A. Zapata, S. Malato, W. Gernjak, A.R. Fernández-Alba. Degradation of the antibiotics flumequine and nalidixic acid in water by advanced oxidation processes. Analytical evaluation. (Cartel). *5th European Conference on Pesticides and Related Organic Micropollutants in the Environment.. Marsella, Octubre 2008*.



## **6.2 TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES PARA UNA GESTIÓN SOSTENIBLE. (TRAGUA)**

**Participantes:** Grupos de Ingeniería Química de la Universidad de Alcalá, Universidad Rey Juan Carlos, Universidad Autónoma de Madrid, Universidad Complutense, Universidad de Extremadura, Universidad de Castilla la Mancha, Universidad de Cantabria, CIEMAT, CIESOL, Grupo de Microbiología Ambiental de la Universidad Autónoma de Barcelona, Química Analítica de la Universidad de Jaén, Microbiología III de la Universidad Complutense, Laboratorio de Ecotoxicología del INIA, Instituto Jaume Almera del CSIC/Universidad de Barcelona, Departamento de Geología de la Universidad de Alcalá, Grupo de Geología de la Universidad Rey Juan Carlos, Universidad Politécnica de Catalunya, COEXPHAL, Universidad Las Palmas de Gran Canarias, ASAJA-GRANADA, Grupo de Economía Ambiental de la Universidad de Alcalá, Universidad de Alicante, Cátedra UNESCO de Territorio y Medio Ambiente de la Universidad rey Juan Carlos

**Contactos:** Amadeo R. Fernández-Alba ([amadeo@ual.es](mailto:amadeo@ual.es)); Sixto Malato ([sixto.malato@psa.es](mailto:sixto.malato@psa.es))

**Fuente de financiación:** Ministerio de Educación y Ciencia: Convocatoria Plan Nacional de I+D+i 2004-2007. CONSOLIDER-INGENIO 2010. Convocatoria 2006

**Duración prevista:** 15/09/2006 hasta: 14/09/2011

**Situación:** En curso

**Antecedentes:** La gestión sostenible del agua tiene como uno de sus pilares básicos a la reutilización. Según estudios recientes realizados sobre nuestro país el potencial de reutilización de agua es alrededor de 10 veces superior al nivel actual. Las causas de la escasa reutilización de aguas son diversas, entre las más importantes: no se dispone de protocolos de tratamiento para las aguas generadas en las EDAR's, no existen criterios claros para elegir tecnologías en los tratamientos avanzados, no existen indicadores de calidad de las aguas de aceptación generalizada en función de su uso posterior y tampoco se dispone de instrumentos que permitan establecer las ventajas económicas y sociales de la reutilización. Estos son los motivos fundamentales por los que se propone el programa TRAGUA.

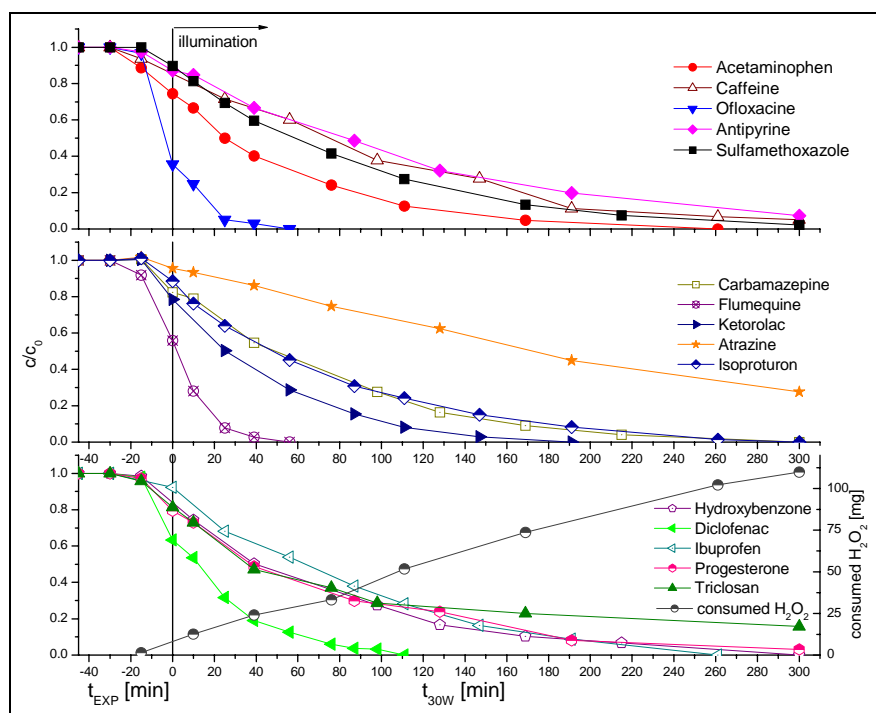
**Objetivos:** El objetivo de este programa es abordar de manera integrada los diferentes aspectos implicados en la reutilización de aguas residuales procedentes de EDAR's. El equipo estudiará la aplicación de tratamientos de las aguas procedentes de las EDAR's basados en tecnologías avanzadas, establecerá los criterios de calidad química y biológica de las aguas y determinará su impacto sobre el medio natural.

**Resultados durante 2008:** La actividad científica durante este periodo se ha centrado en los siguientes aspectos:

1. Se han ampliado los métodos analíticos desarrollados en 2007, incluyendo nuevos contaminantes y metabolitos de interés, lo que actualmente permite el análisis de 110 compuestos mediante LC-MS y GC-MS.
2. Se ha completado satisfactoriamente el programa de evaluación de las EDAR iniciado en 2007, por lo que actualmente se dispone de una extensa base de datos, en formato Excel, con los resultados analíticos, acumulados durante dos años de muestreo, sobre el contenido en fármacos y productos de higiene personal en EDARs de diferentes puntos de España.
3. Se ha desarrollado una herramienta para la realización de Evaluaciones de riesgo ambiental y sobre la salud humana de agua residual, a través de su reutilización agrícola:

Human and Ecological Risk screening tool for chemical pollutants in Wastewater Effluents (HERWE).

4. Se ha realizado la evaluación analítica de los tratamientos avanzados aplicados por diferentes grupos de trabajo. Se realizó el seguimiento tanto a muestras reales de efluente como a muestras reales contaminadas con un grupo de compuestos seleccionado.
5. Se ha realizado un estudio muy pormenorizado de la utilización de foto-Fenton solar para tratamiento de efluentes de depuradora municipal.



**Figura 6.2.** Degradación de 15 contaminantes (0.1 mg/L cada uno) mediante foto-Fenton a pH natural en efluente de EDAR.

### Abstract

Spain is the European country with the highest water deficit and only 5% of the waste water is reused. The reasons for the small water reuse are diverse, the most important among them being the lack of treatment protocols for treated waters coming from Municipal Wastewater Treatment Plants (MWTP) and the lack of clear criteria for choosing technologies. TRAGUA is a five years project (2006-2011) for enhancing wastewater reuse in Spain. When finished, the Program will provide with an inventory of waste waters for potential reuse, treatment protocols according to their characteristics and the available economically improved technologies, standard methods of chemical, microbiological and toxicological analysis, information about the water impact on the environment and the respective socio-economic analysis. During 2008 it has been developed a new method for evaluating 110 different contaminants by LC-MS and GC-MS, it has been developed a toll for environmental risk assessment "Human and Ecological Risk screening tool for chemical pollutants in Wastewater Effluents (HERWE)" jointly with a detailed analytical screening of the different treatments applied by TRAGUA partners. CIESOL group has demonstrated that contaminants at low concentrations ( $\mu\text{g/L}$  range) can be successfully degraded to negligible concentrations with solar photo-Fenton at low iron concentrations and low initial  $\text{H}_2\text{O}_2$  concentrations without adjusting the pH.

### Publicaciones:

M. J. Gómez, M. J. Martínez Bueno, A. Agüera, M. D. Hernando, A. R. Fernández-Alba; M. Mezcua. Evaluation of ozone-based treatment processes for wastewater containing microcontaminants using LC-QTRAP-MS and LC-TOF/MS. *Water Science & Technology*, 57 (2008) 41- 48.

R. Rosal, A. Rodríguez, J.A. Perdigón-Melón, M. Mezcua, A. Agüera, M.D. Hernando, P. Letón, E. García-Calvo; A.R. Fernández-Alba. Removal of pharmaceuticals and kinetics of mineralization by O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> in a biotreated municipal wastewater. *Water Res.* 42 (2008) 3710 - 3728.

M. J. Gómez, C. Sirtori, M. Mezcua, A.R. Fernández-Alba, A. Agüera. Photodegradation study of three dipyrone metabolites in various water systems: Identification and toxicity of their photodegradation products. *Water Research*, 42 (2008) 2698-2706

A. Rodríguez, R. Rosal, J. A. Perdigón-Melón, M. Mezcua, A. Agüera, M.D. Hernando, P. Letón, A.R. Fernández-Alba, E. García-Calvo. Ozone-based technologies in water and wastewater treatment. En: *Handbook of Environmental Chemistry, Volume 5: Water Pollution 5 S2*, pp. 127-175, 2008.

Muñoz, I; Rodríguez, A; Rosal, A; Fernández-Alba, A. Life Cycle Assessment of urban wastewater reuse with ozonation as tertiary treatment. A focus on toxicity-related impacts. *Science of the Total Environment*, 407 (4), 2008, 1245-1256.

Muñoz, I; Gómez, M. J; Molina-Díaz, A; Huijbregts, M. A. J; Fernández-Alba, A. R; García-Calvo, E. Ranking potential impacts of priority and emerging pollutants in urban wastewater through Life Cycle Impact Assessment. *Chemosphere*, 74 (1), 2008, 37-44.

Muñoz, I; Malato, S; Rodríguez, A; Doménech, X. Integration of environmental and economic performance of products and processes. Case study on advanced oxidation processes for wastewater treatment. *Journal of Advanced Oxidation Technologies*, 11 (2), 2008, 270-275.

Sixto Malato. Removal of Emerging Contaminants in Waste-water Treatment: Removal by Photo-catalytic Processes. In: *The Handbook of Environmental Chemistry (Vol. 5, S/2), Emerging Contaminants from Industrial and Municipal Waste*. D. Barceló and M. Petrovic /Eds.). Springer Verlag, Berlin-Heidelberg, Germany. ISBN 978-3-540-79209. pp. 177-197. 2008.

Nikolaus Klammerth, Wolfgang Gernjak, Sixto Malato, Ana Agüera, Bernhard Lendl. Photo-Fenton Decomposition of Chlorfenvinphos. Determination of Reaction Pathway. *Water Research*, en prensa, 2008.

N. Klammerth, N. Miranda, S. Malato, A. Agüera, A. R. Fernández-Alba, M.I. Maldonado, J.M. Coronado. Degradation of emerging contaminants at low concentrations in MWTPs effluents with mild solar photo – Fenton and TiO<sub>2</sub>. *Catalysis Today*, en prensa, 2008.

Muñoz, I; Gómez, M. M; Rodríguez, A. Crop irrigation with urban wastewaters. LCA case study of tobacco growing in Spanish greenhouses. (Poster). 6th International Conference on LCA in the Agri-Food Sector, Zurich, Switzerland, noviembre 12–14, 2008.

A. Agüera; Amadeo R. Fernández-Alba; M<sup>a</sup> José Gómez; María Jesús Martínez, Application of LC-TOF-MS and LC-QLIT-MS to the determination of pharmaceuticals and their photodegradation products in wastewater and natural water. (Oral). 12<sup>a</sup> Jornadas de Análisis Instrumental (JAI). Barcelona, Octubre 2008.

M.J. Gómez, M.M. Gómez, A. Agüera, P.L.Wylie, A.R. Fernández-Alba. Rapid large screening of organic contaminants in wastewater and rivers by GC-MS. (Oral). 12<sup>a</sup> Jornadas de Análisis Instrumental (JAI). Barcelona, Octubre 2008.

M<sup>a</sup> José Gómez; M<sup>a</sup> del mar Gómez; Ana Agüera; Sonia Herrera; Amadeo R. Fernández-Alba, A new gas chromatography/mass spectrometry (GC-MS) method for the analysis of target and non-target contaminants in waters. (Poster) 5th European Conference on Pesticides and Related Organic Micropollutants in the Environment. Marsella, Octubre **2008**. Premio del Jurado al major poster.

**Tesis Doctoral.** Determinación de Contaminantes Orgánicos en Aguas Residuales y Evaluación de su Impacto Ambiental”. María José Gómez Ramos. Departamento de Hidrogeología y Química Analítica. Universidad de Almería. 6 de Mayo **2008**. DIRECTORES DE LA TESIS: Amadeo R. Fernández-Alba y Ana Agüera.

**Tesis Doctoral.** Degradación fotoquímica de contaminantes emergentes mediante procesos solares. Evaluación analítica. Leónidas Armando Pérez Estrada. Departamento de Hidrogeología y Química Analítica. Universidad de Almería. 9 de Mayo **2008**. DIRECTORES DE LA TESIS: Ana Agüera y Sixto Malato.

### **6.3. APLICACIONES DE LA ENERGÍA SOLAR AL TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES Y EFLUENTES**

**Participantes:** Grupo de Investigación “Residuos de Plaguicidas” (AGR-159).

**Contactos:** Amadeo R. Fernández-Alba ([amadeo@ual.es](mailto:amadeo@ual.es))

**Fuente de financiación:** JUNTA DE ANDALUCÍA. PROGRAMA DE INCENTIVOS A PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN DE EXCELENCIA. CONVOCATORIA 2006.

**Duración prevista:** 07/03/2007 hasta 07/03/2010.

**Situación:** En curso.

**Antecedentes:** A pesar de que existe abundante información sobre procesos fotoquímicos solares para descontaminación de agua en la literatura científica no existe un estudio de evaluación integral del empleo de estos procesos que permita eliminar o degradar los contaminantes indeseables y evaluar en detalle su potencial reutilización en la agricultura.

**Objetivos:** El proyecto pretende abordar de manera integral la reutilización de aguas residuales y concluir en una planta de demostración donde se evalúe en cantidad, calidad y riesgo ambiental la reutilización de las aguas tratadas en la producción agronómica (agricultura intensiva, cultivos energéticos y riegos).

#### **Resultados:**

El primer estudio ha sido realizado con agua residual urbana tratada en cultivo de tabaco destinado a la obtención de compuestos de interés para la industria farmacéutica. El experimento se ha llevado a cabo en invernadero, suelo arenado y sistema de riego por goteo. La finca fue dividida en cuatro sectores de riego, dos regados con agua residual urbana depurada (hasta tratamiento secundario) y dos regados con el agua de uso habitual de los agricultores de la zona. La superficie total cultivada fue de 480 m<sup>2</sup> y se ensayó con dos densidades de plantación y los dos tipos de agua mencionados anteriormente (Agua residual depurada y el agua de riego habitual de la zona). Los tratamientos por tanto fueron los reflejados en Figura 6.3. No hubo diferencia en la producción de biomasa entre los tratamientos regados con agua residual depurada y los regados con el agua de riego de la zona. De todos los compuestos analizados en agua sólo 14 se acumulan en el suelo tras el riego con el agua residual. Durante 2009 se comenzarán los ensayos de reutilización de agua residual urbana microfiltrada en cultivos hortícolas bajo plástico. Asimismo se iniciaran ensayos de riego con efluentes de EDAR tratadas mediante foto-Fenton como tratamiento terciario.

- T.1 Densidad 4 plantas/m<sup>2</sup>
- T.2 Densidad 8 plantas/m<sup>2</sup>
- T.1 R Densidad 4 plantas/m<sup>2</sup>. Agua Residual.
- T.2 R Densidad 8 plantas/m<sup>2</sup>. Agua Residual.

|         |         |         |         |         |         |         |         |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| T1<br>R | T2<br>R | T1<br>R | T2<br>R | T1      | T2      | T1      | T2      |
| T1      | T2      | T1      | T2      | T1<br>R | T2<br>R | T1<br>R | T2<br>R |

**Figura 6.3.** Estudio ha sido realizado con agua residual urbana tratada en cultivo de tabaco.

**Abstract**

*Despite there is lot of information dealing with solar photochemical processes for wastewater treatment, there is a lack of information related with its possible reuse in crops irrigation. This project will try to demonstrate this goal at demonstration plant scale, including on-site testing in greenhouses. During 2008 municipal wastewater has been applied for tobacco plants irrigation in a greenhouse on 480 m<sup>2</sup>, comparing it with irrigation with freshwater. It was demonstrated that 14 different contaminants were accumulated in soil when wastewater was used, being the tobacco production quite similar between both alternatives (fresh and wastewater).*

**Publicaciones:**

Muñoz, I., José Gómez, M., Molina-Díaz, A., Huijbregts, M.A.J., Fernández-Alba, A.R., García-Calvo, E.. Ranking potential impacts of priority and emerging pollutants in urban wastewater through life cycle impact assessment. *Chemosphere* 74 (1), pp. 37-44. **2008.**

Muñoz, I; Gómez-Ramos, M.J; Agüera, A; Juan Francisco García-Reyes, Antonio Molina-Díaz, Fernández-Alba, A.R. Chemical evaluation of contaminants in wastewater effluents and their environmental risk for agricultural reuse. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*. En prensa, **2008.**

## **7. Eficiencia Energética en la Edificación**

### **7.1 PROYECTO SINGULAR ESTRÁTEGICO ARFRISOL**

**Participantes:** Grupo de Investigación “Evaluación de Recursos Solares” (UAL), Grupo de Investigación “Eficiencia Energética en la Edificación” (CIEMAT) y Consorcio de las siguientes instituciones:

- Empresas Constructoras: ACCIONA, DRAGADOS, DRACE, FCC y OHL.
- Empresas fabricantes de captadores solares y módulos fotovoltaicos: ISOFOTON, GAMESA, ATERSA y UNISOLAR.
- Empresas fabricantes de bombas de absorción para ser acopladas a captadores solares: CLIMATEWELL, UNISOLAR
- Empresas instaladoras de captadores solares y módulos fotovoltaicos: ATERSA, ACCIONA, GAMESA, ISOFOTON y UNISOLAR.
- Empresas e ingenierías de diseño de instalaciones solares térmicas y fotovoltaicas ATERSA, ACCIONA , GAMESA, ISOFOTON y UNISOLAR.
- Grupos de Investigación: CIEMAT y Universidades: de Almería y de Oviedo.
- Depositarios finales de los edificios: CIEMAT, Universidad de Almería y Fundación Barredo (Asturias).

Teniendo como subcontratada a la Real Sociedad Española de Física (RSEF) para la elaboración de los Modulos Educativos a nivel de Infantil, Primaria y Secundaria.

**Coordinador:** CIEMAT .

**Contactos:** Francisco Javier Batlles ([fbatlles@ual.es](mailto:fbatlles@ual.es)). M<sup>a</sup> del Rosario Heras ([mrosario.heras@ciemmat.es](mailto:mrosario.heras@ciemmat.es)). M. Berenguel ([beren@ual.es](mailto:beren@ual.es)). M<sup>a</sup> José Jiménez ([mjose.jimenez@psa.es](mailto:mjose.jimenez@psa.es)).

**Fuente de financiación:** 50% MEC y las CCAA.

**Duración prevista:** Mayo 2005 – Diciembre 2011

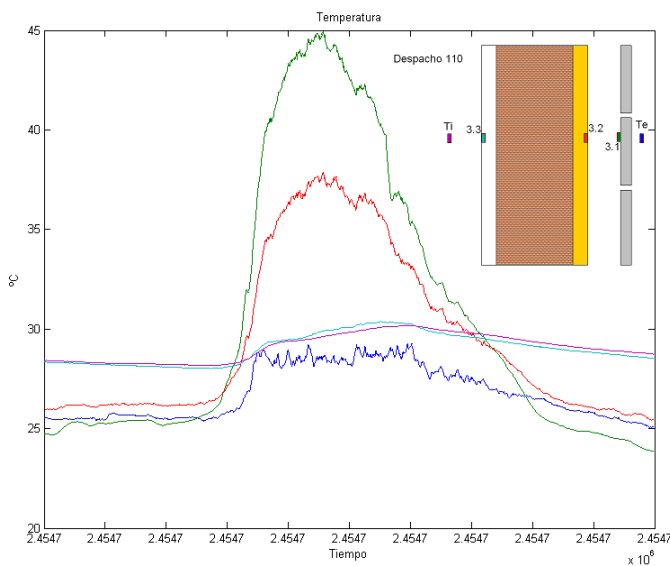
**Situación:** En desarrollo

**Antecedentes:** El crecimiento de la demanda y la carencia de fuentes energéticas a escala nacional están obligando, con mayor intensidad que en otros países de la Unión Europea, a buscar en las energías renovables la alternativa del futuro. La alternancia productiva de las energías renovables y su situación de inmadurez tecnológica imposibilitan la implementación rápida de estas tecnologías. Al mismo tiempo uno de los mayores puntos de consumo energético se encuentra en el sector doméstico y concretamente en la edificación (más de un 33% en España desde 2003, y 40% en los países de la U.E.), donde la incorporación de sistemas solares pasivos y activos presenta un gran potencial de ahorro. Se ha estimado que “el consumo energético en los edificios podría reducirse más de un 50% en la Unión Europea, para el año 2010, mediante la integración de sistemas solares pasivos y activos desde las primeras fases del diseño del edificio”. La arquitectura española ha demostrado históricamente estar entre las más prestigiosas del mundo y, además, la industria de fabricación de sistemas de captación solar se encuentra entre las tres más importantes a escala mundial. A su vez, España es de los países con mayor crecimiento en el uso de los sistemas de climatización, sobre todo de aire acondicionado, que esta experimentando un gran aumento en los últimos veranos como consecuencia de sus características geográficas y climatológicas.

**Objetivos:** Se pretende analizar en el edificio CIESOL: el comportamiento termodinámico del sistema de calefacción y refrigeración instalado basado en equipos de energía solar térmica que cubran las necesidades energéticas, la instalación de un sistema fotovoltaico conectado a la Red y la instalación de un sistema de monitorización para evaluar el confort y el comportamiento energético del edificio en condiciones reales de uso del edificio.

**Resultados durante 2008:** Dentro del Subproyecto-7 las actuaciones realizadas a lo largo del año 2008 han servido para cerrar las fases de instalación y puesta en marcha de un sistema de medida específico cuya función es la adquisición de datos que permitan evaluar el comportamiento térmico global y las condiciones de confort existentes tanto en el edificio CIESOL en su conjunto como en espacios seleccionados del mismo e iniciar, en paralelo, el proceso de análisis y valoración de los registros generados, tarea que se irá completando de forma continuada a lo largo de los próximos dos años. De forma particular se mencionan los siguientes aspectos:

- a) La instalación de sensores adicionales de seguimiento de procesos específicos de procesos específicos en la fachada ventilada (Figura 7.1a) y de análisis de variables de confort en espacios seleccionados (Figura 7.1b).
- b) El desarrollo y puesta en operación de un nuevo software de adquisición propio del proyecto, según especificaciones del CIEMAT, incluyendo un sistema de asistencia a la configuración de lecturas, nuevas especificaciones en cuanto a formato y base temporal de registros de salida y la inclusión de “flags” de error de los datos, así como la redacción de su manual correspondiente. Dicha herramienta será utilizada en los demás edificios contenedores demostradores de investigación del proyecto.
- c) El desarrollo de un sistema software de asistencia al análisis de los archivos de datos históricos resultantes del proceso de monitorización que facilita a los distintos grupos trabajar con ellos de forma rápida y amigable. También se ha redactado su correspondiente manual.
- d) De forma adicional se ha trabajado en elaboración de pautas de medida integrables en el sistema de adquisición orientadas a establecer un procedimiento de conteo de presencia en los espacios del edificio mediante detectores de tipo óptico.

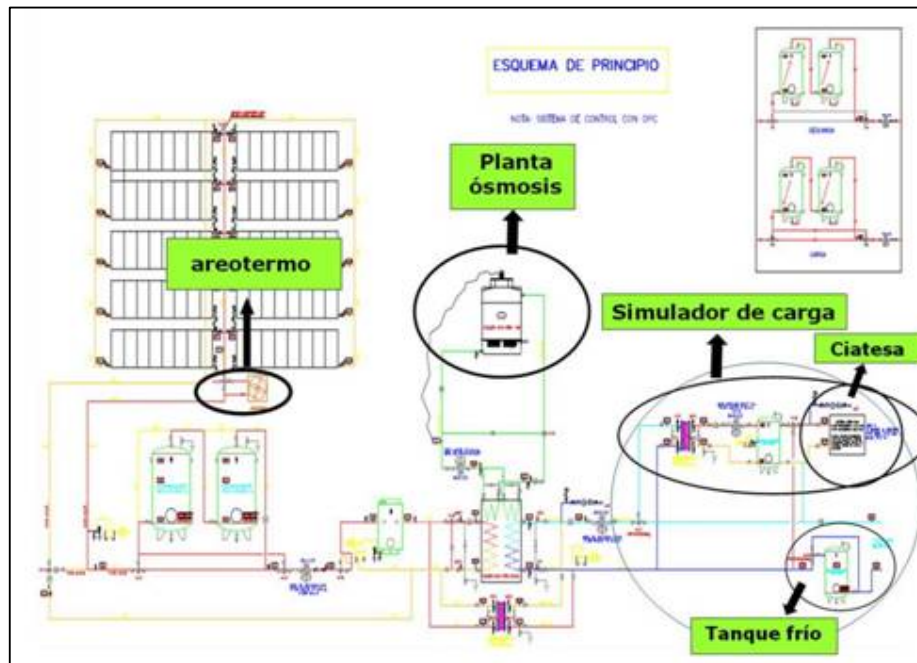


a)

b)

**Figura 7.1.** (a) Valoración del efecto amortiguador de la fachada ventilada (día ejemplo, verano 2008); (b) Monitorización de parámetros de confort en laboratorio 8.

Dentro del Subproyecto-8 las actuaciones realizadas a lo largo del año 2008 estuvieron relacionadas con mejoras sobre la instalación de calefacción y refrigeración solar instalada en el edificio CIESOL. La ampliación de la instalación consta fundamentalmente de un simulador de carga, un sistema de acumulación de frío, un aerotermo y una planta de tratamiento de aguas. En la Figura 7.2 se muestra el esquema actual de la instalación, donde se ha identificado las mejoras realizadas durante el presente año. A continuación describiremos los distintos dispositivos introducidos en la instalación.



**Figura 7.2.** Esquema de la instalación de calefacción y frío solar

- a) **Simulador de carga.** El objetivo de este dispositivo consiste en poder simular en todo momento la carga sobre la que puede operar el edificio, y así poder analizar en detalle el funcionamiento de la máquina de absorción en diferentes condiciones de carga. El simulador de carga está formado por una bomba de calor de la marca CIATESA IWED-360 de 75 kw, dicha máquina está conectada en serie con un intercambiador de calor de 90 Kw y un sistema de acumulación de agua caliente de 2000 litros.
- b) **Sistema de acumulación en frío.** Tras analizar los ciclos de funcionamiento de la máquina de absorción, se ha puesto de manifiesto la necesidad de incorporar un sistema de almacenamiento de frío (3000 litros de agua a unos 6 °C), para acortar el primer ciclo de funcionamiento de la máquina, que es del orden de unos 30 minutos. Con este sistema también se consigue evitar las paradas de la máquina, que tienen lugar cuando la temperatura de salida del evaporador es del orden de los 6 °C. Dicho sistema también cubrirá la demanda de refrigeración en aquellos casos en los que no dispongamos de ningún tipo de energía térmica.
- c) **Planta de tratamiento de aguas.** Dado el gran consumo de agua que necesita la torre de refrigeración, así como la mala calidad del agua de la que disponemos, es necesario que el agua deba de ser tratada para el correcto funcionamiento de la máquina de absorción. Se



incorporó en la instalación una planta de tratamiento de aguas que funciona por osmosis inversa.

- d) **Aerotermino.** Uno de los principales problemas del campo solar son las elevadas temperaturas que puede alcanzar el fluido caloportador, que pueden incluso superar los 130 °C en los meses de verano. La temperatura máxima para el buen rendimiento de los captadores térmicos es del orden de los 100 °C. Para evitar estas temperaturas elevadas se instaló un disipador de energía. También este dispositivo nos permitirá seleccionar la temperatura de operación del campo solar.

Durante este año se instaló una planta fotovoltaica de 10 Kw de potencia pico. Dicha planta es para el autoconsumo del edificio y fue instalada por la empresa ATERSA. En la Figuras adjuntas se muestran la planta fotovoltaica así como los inversores.



a)

b)

**Figura 7.3.** (a) Planta fotovoltaica instalada en CIESOL, (b) Inversores de la planta fotovoltaica instalada en CIESOL.

**Publicaciones:**

Rosiek, S and Batlles, F.J. Integration of the solar thermal energy in the construction: Análisis of the solar-assisted air-conditioning system installed in CIESOL building. *Renewable Energy*, in press, **2008**.

Rosiek, S, Batlles, F.J. Sistema de calefacción y refrigeración solar: un año de operación en el edificio CIESOL: Proyecto ARFRISOL. *Era Solar*, **2008**, 46-49

Rosiek, S., Batlles, F.J. Sistema de refrigeración solar instalado en el edificio CIESOL. *El instalador*, **2008**, 104-120.

Rosiek, S.; Batlles, F.J. Sistema de calefacción y refrigeración solar: un año de operación en el edificio CIESOL: Proyecto ARFRISOL. Libro de Actas del XIV Congreso Ibérico y IX Congreso Ibérico de Energía Solar, 1089-1094. Celebrado en Vigo en junio de **2008**.

**Abstract**

*The increasing energy consumption in many countries (especially in Spain) is moving from the winter to summer months due to the usage of cooling systems. Passive saving strategies together with active solar system play an important role as methods to reduce energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions, and have been in intensive development and are becoming considered as the viable application in the regions of southern Europe. The Spanish Ministry of Science and Innovation (MINCIN former MEC) is promoting a singular strategic project called ARFRISOL. This project intends to save up to 60% office building energy demand by means of passive techniques and reduce conventional energy consumption to only 10-20% of the usual*

*consumption with active solar devices. In this framework five Research and Demonstration Office Building Prototypes (R&DOBP) in different Spanish climatic zones have been built. One of these buildings is CIESOL with photovoltaic system to self-supply electricity, and solar-assisted air-conditioning. The PV panels and the solar collectors integrated into its roof perform as passive shading devices that benefit the thermal performance of the building.*

*CIESOL and all the 5 ARFRISOL Building Prototypes are being monitored for at least a year to analyse the building performance in real use conditions. In this period the monitoring software and data acquisition system has been developed.*

*Also in this period the behavior of the solar-assisted air-conditioning installed in the CIESOL building has been analyzed. This system consists mainly of flat-plate solar collectors and the simple effect LiBr-H<sub>2</sub>O absorption chiller. Different operation modes were analyzed. Coefficient of performance (COP) at various generator, absorber, condenser and evaporator temperatures is being investigated and experimental results show that in practice it is easy to obtain values of about 0.6. The main goal of this work is to describe the characteristics of the developing building and the solar-assisted air-conditioning system. Another useful purpose is to find the optimum conditions and operation parameters for the solar system through analyzing various system operation strategies.*

## **Anexo 1**

### **MASTER EN ENERGÍA SOLAR**

**Participantes:** CIESOL, Conserjería de Innovación Ciencia y Empresa

**Contactos:** F. Batlles ([fbatlles@ual.es](mailto:fbatlles@ual.es)).

**Fuente de financiación:** Matrículas y subvenciones públicas y privadas.

**Duración prevista:** 1 curso académico.

**Situación:** En funcionamiento III Master (Curso Académico 2008-2009)

**Antecedentes:** Dentro de las energías renovables, la energía solar juega un papel fundamental. En los últimos tiempos, los diferentes gobiernos españoles han mostrado su interés por fomentar el uso de la energía solar, tanto térmica como fotovoltaica. Cabe destacar la ley de aprobación térmica para la edificación y la ley que regula las primas en el sector eléctrico. La primera favorece la producción de agua caliente sanitaria en la edificación, con colectores solares planos. La segunda es un apoyo decidido a la producción de electricidad mediante energía solar, tanto térmica como fotovoltaica. Entre los diferentes proyectos relacionados con la energía solar existentes en Almería, cabe destacar el AFRISOL y las centrales de producción de electricidad mediante colectores cilindro-parabólicos. Este Master nace del interés común de los organismos participantes en potenciar el área de energía solar y de la necesidad cada vez más acusada que esta sociedad tiene de disponer de profesionales con una formación específica de estas tecnologías. Implantar el Master en la Universidad de Almería es consecuencia del entorno privilegiado en donde ésta se encuentra, ya que la situación geográfica de la provincia de Almería la convierte en un enclave de gran futuro en el campo de la energía solar y también ha sido pionera en el empleo de este tipo de desarrollo.

**Objetivos:** El curso está dirigido a postgraduados, alumnos del último curso de licenciatura y, profesionales interesados en el aprovechamiento de la energía solar, pretende ofrecer una panorámica de la potenciabilidad del uso de dichas tecnologías, mostrando el interés que su utilización puede representar en el contexto energético actual. Así mismo, se pretende dar a conocer realizaciones industriales, siendo éstas presentadas y analizadas por especialistas que han intervenido en su diseño o puesta en funcionamiento. La Plataforma Solar de Almería (PSA) constituye un escenario de excepción para las actividades formativas. El CIESOL dispone también de instalaciones de aprovechamiento de energía solar y, en el panorama energético andaluz, surgen proyectos y realizaciones en el área de la energía solar que hacen indispensable la especialización en estas disciplinas energéticas.

**Resultados durante 2008.** Las clases comenzaron el día 19/10/2007. El acto de clausura de la promoción 2008 y el de apertura del curso 2008-2009 tuvo lugar el día 18/10/2008 estando presente D. Pedro Molina García, Rector de la UAL D. Juan Antonio Rubio, Director General del CIEMAT, D. Sixto Malato Rodríguez, Subdirector del CIESOL y D. Francisco Javier Batlles Garrido, Director del Master. En esta edición el Master contó con 21 alumnos.

| RELACIÓN ESQUEMÁTICA DE MATERIAS Y ACTIVIDADES           |          |                           |
|--|----------|---------------------------|
| DENOMINACIÓN   | CRÉDITOS | CUATRIMESTRE <sup>1</sup> |
| Evaluación de recursos energéticos solares               | 3.5      | 1º                        |
| Modelado y control de plantas de energía solar           | 2.5      | 1º                        |
| Energía solar térmica de baja temperatura                | 4.5      | 1º                        |
| Energía solar térmica de media temperatura               | 4.5      | 1º                        |
| Energía solar térmica de alta temperatura                | 4.5      | 2º                        |
| Energía solar fotovoltaica                               | 4.5      | 2º                        |
| Aplicaciones de la energía solar al tratamiento de aguas | 2.5      | 2º                        |
| Aplicaciones de la energía solar a la agricultura        | 2.5      | 2º                        |
| Legislación y aspectos económicos de la energía solar    | 1        | 2º                        |

**Tabla A1.1.** Módulos y carga lectiva (créditos) de Master de Energía Solar.

## Anexo 2

|                    |   |   |
|--------------------|---|---|
| <b>Director</b>    | Amadeo R. Fernández-Alba*<br>Catedrático de la Universidad de Almería<br><a href="mailto:amadeo@ual.es">amadeo@ual.es</a> | Manuel Pérez García**<br>Profesor Titular de la Universidad de Almería.<br><a href="mailto:mperez@ual.es">mperez@ual.es</a> |
| <b>Subdirector</b> | Sixto Malato Rodríguez<br>Investigador de O.P.I. CIEMAT<br><a href="mailto:Sixto.malato@psa.es">Sixto.malato@psa.es</a>   |   |

### RESPONSABLES DE ACTIVIDADES

|   | <b>Universidad de Almería</b>  | <b>Plataforma Solar de Almería</b>   |
|---|--|--|
| Organometálica y Fotoquímica            | Antonio Romerosa. Profesor Titular de la Universidad de Almería.<br><a href="mailto:romerosa@ual.es">romerosa@ual.es</a> | Christoph Richter. Investigador de DLR en la Plataforma Solar de Almería<br><a href="mailto:christoph.richter@dlr.de">christoph.richter@dlr.de</a> |
| Tratamiento de Aguas                    | José A. Sánchez. Profesor Titular de la Universidad de Almería.<br><a href="mailto:jsanchez@ual.es">jsanchez@ual.es</a>  | Manuel I. Maldonado. Investigador de O.P.I. CIEMAT<br><a href="mailto:Mignacio.maldonado@psa.es">Mignacio.maldonado@psa.es</a>                     |
| Modelado y Control Automático           | Manuel Berenguel. Profesor Catedrático de la Universidad de Almería.<br><a href="mailto:beren@ual.es">beren@ual.es</a>   | Luis Yebra. Investigador de O.P.I. CIEMAT<br><a href="mailto:Luis.yebra@psa.es">Luis.yebra@psa.es</a>  |
| Evaluación del Recurso Solar            | Javier Batlles. Profesor Titular de la Universidad de Almería.<br><a href="mailto:fbatlles@ual.es">fbatlles@ual.es</a>   | Luis Zarzalejo Tirado. Investigador de O.P.I. CIEMAT<br><a href="mailto:lf.zarzalejo@ciemmat.es">lf.zarzalejo@ciemmat.es</a>                       |
| Química Ambiental                       | Amadeo R. Fernández-Alba. Catedrático de la Universidad de Almería.<br><a href="mailto:amadeo@ual.es">amadeo@ual.es</a>  | Sixto Malato Rodríguez. Investigador de O.P.I. CIEMAT<br><a href="mailto:Sixto.malato@psa.es">Sixto.malato@psa.es</a>                              |
| Eficiencia Energética en la Edificación | Javier Batlles. Profesor Titular de la Universidad de Almería.<br><a href="mailto:fbatlles@ual.es">fbatlles@ual.es</a>   | M <sup>a</sup> José Jiménez. Investigador de O.P.I. CIEMAT<br><a href="mailto:mjose.jimenez@psa.es">mjose.jimenez@psa.es</a>                       |

### COMITÉ DE COORDINACIÓN

|  |  |
|--|--|
| José Luís Martínez (Vicerrector de Investigación de la Universidad de Almería) | <a href="mailto:vinvest@ual.es">vinvest@ual.es</a>               |
| Manuel Berenguel (Catedrático de la Universidad de Almería)                    | <a href="mailto:beren@ual.es">beren@ual.es</a>                   |
| Diego Martínez (Director de la Plataforma Solar de Almería, CIEMAT)            | <a href="mailto:Diego.martinez@psa.es">Diego.martinez@psa.es</a> |
| Luis Yebra (Investigador del CIEMAT)   | <a href="mailto:Luis.yebra@psa.es">Luis.yebra@psa.es</a>         |

### COMITÉ CIENTÍFICO

|  |  |
|--|--|
| Manuel Romero (Director de la División de Energías Renovables del CIEMAT)                                  | <a href="mailto:manuel.romero@ciemmat.es">manuel.romero@ciemmat.es</a> |
| Manuel Montes (Subdirector General de Programas de Fomento de la Investigación Técnica Sectorial del MEC). | <a href="mailto:manuel.montes@mec.es">manuel.montes@mec.es</a>         |
| Eloy García (Catedrático de Ingeniería Química de la Universidad de Alcalá de Henares )                    | <a href="mailto:eloy.garcia@uah.es">eloy.garcia@uah.es</a>             |
| Arturo Romero (Catedrático de Ingeniería Química de Universidad Complutense)                               | <a href="mailto:aromeros@quim.ucm.es">aromeros@quim.ucm.es</a>         |

\* Hasta 14 de Noviembre de 2008.

\*\* A partir de 14 de Noviembre de 2008.