

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

**Título de documento:**

**Informe de actividades 2009**



**Referencia:** CIESOL-2009-Dirección-01  
**Revisión:** A  
**Fecha:** Marzo 22, 2010  
**Número de páginas:** 41  
**Autor(es):** 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. Manuel Pérez (UAL)  
Dr. Amadeo R. Fernández-Alba (UAL)  
Dr. Sixto Malato Rodríguez (CIEMAT)

*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>	5
<b>3. Actividades en Tratamiento de Aguas</b>	9
<b>4. Actividades en Modelado y Control Automático</b>	17
<b>5. Actividades en Evaluación del Recurso Solar</b>	25
<b>6. Actividades en Química Ambiental</b>	29
<b>7. Eficiencia Energética en la Edificación</b>	39
<b>8- Máster en Energía Solar</b>	41
<b>9.- Actividades de transferencia tecnológica</b>	43

## 1. Introducción

El 16 de Diciembre de 2005 se inauguró CIESOL. Este informe pretende compendiar las actividades desarrolladas a lo largo de 2009 y complementa a los tres informes anteriores (2006-2008) disponibles en las páginas web del centro (<http://www.ciesol.es>, sección documentos). Es necesario remarcar que en el cuarto 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 **10 proyectos y 4 contratos con empresas**. En paralelo, 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 **39 artículos en revistas internacionales** con índice de impacto, además de abundantes comunicaciones a congresos. Este informe contiene, por último, información sobre el máster en energía solar que se imparte en las instalaciones del centro así como de las actividades divulgativas y de transferencia tecnológica desarrolladas a lo largo 2009.

Cabe reseñar en esta introducción 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 2009 and it is complementary with former reports (2006-2008) available at CIESOL web site (<http://www.ciesol.es>, documents). It is necessary to remark that along 2009 (4<sup>rd</sup> year after start-up) CIESOL has extended its activities to a wide range of projects: **10 research projects and 4 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 **39 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. This document also reports about MASTER IN SOLAR ENERGY, being lectured at CIESOL, jointly with dissemination and knowledge transfer activities during 2009.*

*CIESOL web site should be also emphasized (<http://www.ciesol.es/>), 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/>

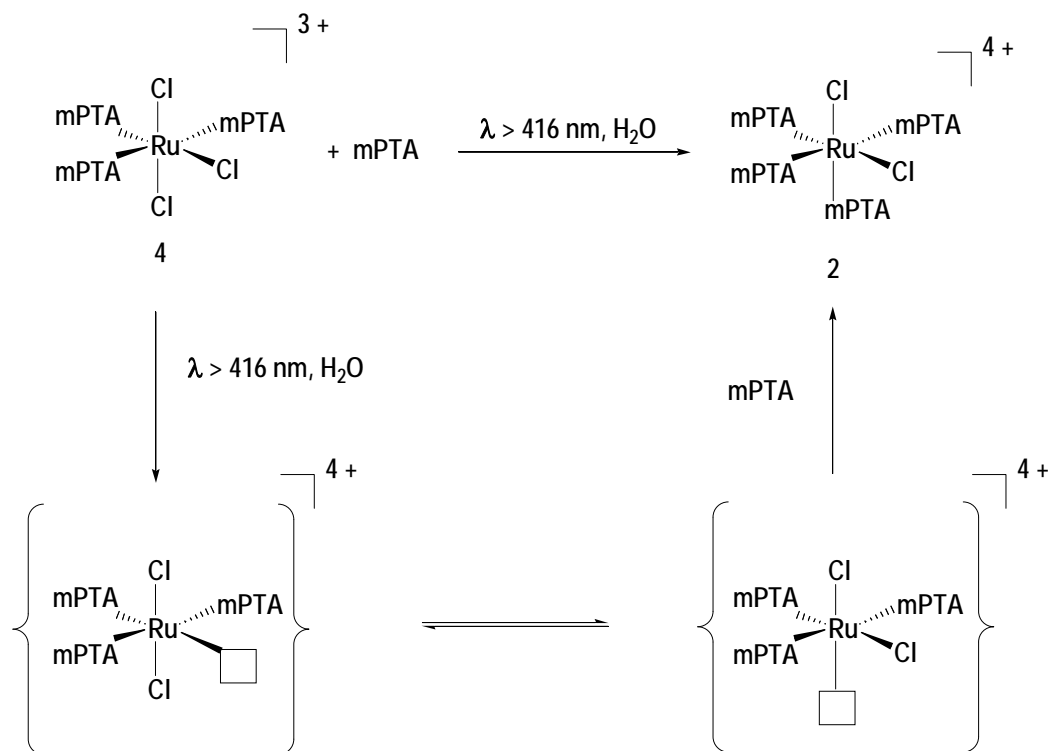
**Fuente de financiación:** MEC

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

**Situación:** Concluido.

**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 reversible del complejo  $\text{cis-}[\text{RuCl}_2(\text{mPTA})_4]^{4+}$  (mPTA = N-metil-1,3,5-triaza-7-fosfaadamantano).

**Resultados durante 2009:** Los resultados obtenidos fueron realmente motivadores, destacando: a) se ha continuado estudiando la isomerización de alquenos mediante luz visible a temperatura

ambiente; b) se ha desarrollado un proceso para oxidar moléculas orgánicas en agua; c) se han continuado sintetizando obteniendo nuevos complejos organometálicos que presentan actividad catalítica en fase homogénea tanto con luz como sin la misma. Durante el 2009 se han continuado desarrollando aquellas líneas iniciadas 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 2009 are consequence of the results obtained in 2007-2008 in which some new complexes active in photocatalysis for isomerization and hidrogenation of enols were obtained. In 2009 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.

B. Gonzalez, P. Lorenzo-Luis, A. Romerosa, M. Serrano-Ruiz, P. Gili. Theoretical aspects on water soluble  $[\text{RuClCp}(\text{PPh}_3)_2]$ ,  $[\text{RuClCp}(\text{PTA})(\text{PPh}_3)]$ ,  $[\text{RuClCp}(\text{PTA})_2]$ ,  $[\text{RuClCp}(\text{mPTA})(\text{PPh}_3)]^+$  and  $[\text{RuClCp}(\text{mPTA})_2]^{2+}$  (PTA = 1,3,5-triaza-7-phosphaadamantane; mPTA = N-methyl-1,3,5-triaza-7-phosphaadamantane). *J Mol Struc-Theochem*, **2009**, 894, 59-63.

Rugiada Girotti, Antonio Romerosa, Sonia Mañas, Manuel Serrano-Ruiz, Robin N. Perutz. Visible-light photoisomerization and photoaquation of trans- $[\text{Ru}(\text{PTA})_4\text{Cl}_2]$  in organic solvent and water (PTA = 1,3,5-triaza-7-phosphaadamantane). *Inorg. Chem.* **2009**, 48, 3692-3698

Beatriz Gonzalez, Pablo Lorenzo-Luis, Pedro Gili, Antonio Romerosa, Manuel Serrano-Ruiz. Behaviour of  $[\text{RuClCp}(\text{mPTA})_2](\text{OSO}_2\text{CF}_3)_2$  in water vs. the ph: synthesis and characterization of  $[\text{RuCpX}(\text{mPTA})_2](\text{OSO}_2\text{CF}_3)_n$ , X = (H<sub>2</sub>O-kO, DMSO-kS, n = 3; OH-kO, n = 2) (mPTA = N-methyl-1,3,5-triaza-7-phosphaadamantane). *J.I Organometallic Chem.* **2009**, 694, 2029-2036

M. Chaaara, A. Romerosa, S. Mañas. Propriétés photochimiques de  $[\text{RuCl}_2(\text{mPTA})_4](\text{OTf})_4$ : Un nouveau complexe hydrosoluble de ruthénium. International Symposium on Organometallic chemistry and Catalysis, RENACOM 2009, Tetouna, Morocco, Abril 29-30, **2009**. O18.

Mounia Chaaara, Rugiada Girotti, Sonia Mañas, Vincenzo Passarelli, Antonio Romerosa, Manuel Serrano-Ruiz. Water-soluble mPTA-Ruthenium(II) derivatives: synthesis, unprecedented photochemical behaviour and catalytic activity (mPTA = N-methyl-1,3,5-triaza-7-phosphaadamantane). ESC2009 (12th European Student Conference of Colloids) July 15-18, **2009**. Univesidad de Almería, Almería, Spain. pp 24.

A. Mena-Cruz, P. Lorenzo-Luis, V. Passarelli, A. Romerosa, M. Serrano-Ruiz. Coordination properties of the heteroditopic P<sub>2</sub>N<sub>2</sub>-ligand 3,7-dimethyl-1,3,7-triaza-5-phosphabicyclo[3.3.1]nonane (dmoPTA): synthesis and characterization of novel Ru-M bimetalic derivatives (M = Ni, Zn). 5th Flash Conference of ERA-Chemsitry.- Big Task of Water: Building and Destroying Molecules in Water. 18-22 October **2009**, Abthei Frauenwörth/Chiemsee, Alemania. P5

## 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/>

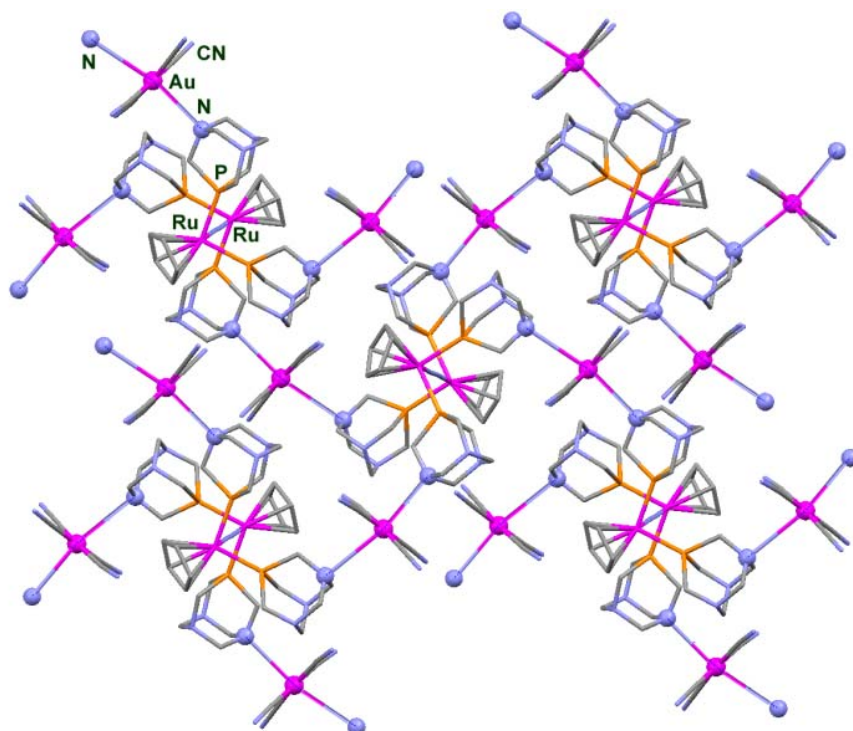
**Fuente de financiación:** MEC

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

**Situación:** Concluido.

**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.



**Figura 2.2.** Estructura cristalina del polímero 2D de Ru-Ru.

**Resultados durante 2009:** La intensa labor investigadora que se está realizando está dando lugar a nuevos compuestos poliméricos polimetálicos acuo-compatibles con propiedades novedosas. La familia de polímeros de Ru-Ru-Au solubles en agua que presentan propiedades de termogel se ha extendido a sistemas en 2D que de nuevo son los primeros ejemplos 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.

**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.**

A. Rodríguez-Dieguez, A. J. Mota, J. M. Seco, M. A. Palacios, A. Romerosa, E. Colacio. Influence of metal ions, coligands and reaction conditions on the structural versatility and properties of 5-pyrimidyl-tetrazolate containing complexes. *Dalton Transac.* **2009**, 9578-9586.

E. M. Peña-Méndez, B. González, P. Lorenzo, A. Romerosa, Josef Havel. Mass spectrometry and uv-vis spectrophotometry of ruthenium(II)  $[RuClCp(mPTA)_2](OSO_2CF_3)_2$  complex in solution. *Rapid Commun. Mass Spectrom.* **2009**, 23, 3831–3836.

Antonio Manuel Romerosa Nievas, Lahzar Hajji, Cristobal Saraiba Bello, Manuel Serrano Ruiz. Complejos de rutenio solubles en agua con fosfinas acuosolubles y bases púricas. P200800226. 16/01/2008. Universidad de Almería. WO2009090277 (A1), **19/09/2009**. European Application.

M. Mallqui Ayala, A. Romerosa, M. Serrano-Ruiz, M. Peruzzini, L. Gonsalvi. Synthesis of Geles using water soluble  $Cp(CONHCMe_3)_2$  containing allenylidenes Ruthenium Comeplexes. ESC2009, 12<sup>th</sup> European Student Conference of Colloids. July 15-18, **2009**. Univesidad de Almería, Almería, Spain. pp 46.

Nazira Jadagayeva, Antonio Romerosa, Manuel Serrano-Ruiz. Organometallic Gel containing  $[(PTA)_2CpRu-X-RuCp(PTA)_2-Au(CN)_4]_n$  framework (PTA = 1,3,5-triaza-7-phosphaadamantane; X = NCS-, N3-). ESC2009 (12th European Student Conference of Colloids) July 15-18, **2009**. Univesidad de Almería, Almería, Spain. pp 47.

M. Serrrano-Ruiz, A. Romerosa, B. Sierra-Martín, A. Fernández-Barbero. Water souble organometallic microgels with a non lineal structure. ESC2009 (12th European Student Conference of Colloids) July 15-18, **2009**. Univesidad de Almería, Almería, Spain. pp 48.

Manuel Serrrano-Ruiz, Antonio Romerosa, Benjamin Sierra-Martín, Antonio Fernández-Barbero. Non-Lineal Organometallic Microgels in Water. 5th Flash Conference of ERA-Chemsitry.- Big Task of Water: Building and Destroying Molecules in Water. 18-22 October **2009**, Abthei Frauenwörth/Chiemsee, Alemania. Comunicación Oral, O7.

A. Romerosa, M. Serrrano-Ruiz, B. Sierra-Martín, A. Fernández-Barbero. Polímeros polimetálicos solubles en agua: una nueva familia de compuestos químicos con propiedades sorprendentes. 2º Simp. Latinoam. Química Coord. y Organom. (SILQCOM); 25-29 de octubre de **2009**, Maracaibo (Venezuela). Conferencia invitada. pp. 56. ISBN: 978-980-12-4025-9.



### 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 - Septiembre, 2009.

**Situación:** Concluido

**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 fotocátalisis 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 fotocátalisis..
5. Diseño y construcción de un sistema integrado fotocátalisis-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 2009 (correspondientes al subproyecto desarrollado en CIESOL).

Siguiendo el trabajo desarrollado en 2008 con mezcla de cuatro plaguicidas, se ha estudiado la influencia de la concentración contaminantes 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 de carbono orgánico procedente de los plaguicidas: 200 y 500 mg L<sup>-1</sup>. Para realizar la combinación de tecnologías, 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, respectivamente. Para estimar la biodegradabilidad se ha empleado un test propio basado en la bacteria *Pseudomonas putida* mediante la medida de la eficiencia de biodegradación en matraces Erlenmeyer, por ser un método rápido, reproducible y fiable. El biotratamiento se ha realizado en modo discontinuo secuencial con fangos activos. La intensidad del tratamiento foto-Fenton para combinar con biológico depende de la concentración de plaguicidas y de su naturaleza química, siendo necesario un estudio caso a caso, como se muestra:

4 plaguicidas a 200 mg L<sup>-1</sup> → 31% mineralización

5 plaguicidas a 200 mg L<sup>-1</sup> → 40% mineralización

5 plaguicidas a 500 mg L<sup>-1</sup> → 57% mineralización

Como revela la cinética de biodegradación, los intermedios generados cuando la concentración de plaguicidas es mayor causan una disminución en las velocidades de consumo de carbono incluso a tiempos de tratamiento de foto-Fenton mayores (Figura 3.1).

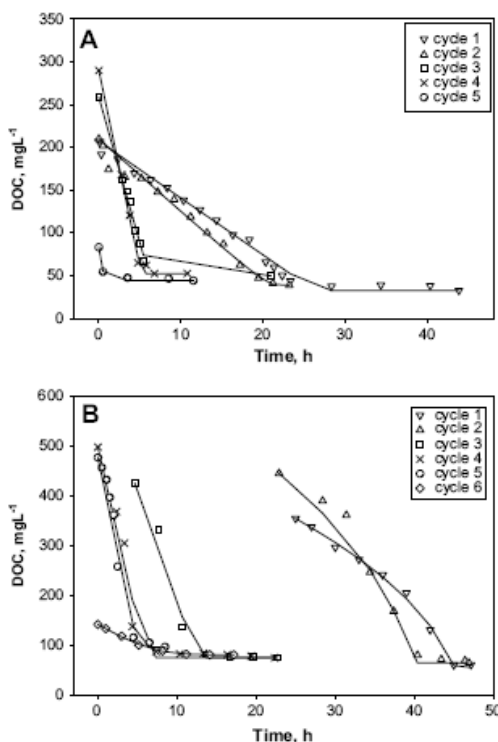


Fig. 5 – Kinetic model fits (lines) to each SBR cycle at both pesticide concentrations pre-treated by photo-Fenton: 200 mg L<sup>-1</sup> (A) and 500 mg L<sup>-1</sup> (B).

Table 1 – Model parameters for the SBR biodegradations.

Original pesticide concentration (as DOC, mg L <sup>-1</sup> )	Specific DOC uptake rate, q <sub>max</sub> mg DOC g VSS <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>		Saturation constant, K <sub>s</sub> mg L <sup>-1</sup>		Inhibition constant, K <sub>i</sub> mg L <sup>-1</sup>	
	200	500	200	500	200	500
Cycle						
1	2.7	36.7	0.22	6.91	-	63.4
2	3.3	57.9	0.22	0.19	-	74.1
3	13.5	31.8	0.31	0.25	-	-
4	18.2	50.4	0.31	0.62	-	-
5	23.7*	54.0	0.92*	0.20	-	-
6		8.4*		19.5*		-

\*Data for photo-Fenton intermediates treatment as sole carbon source.

$$\left(-\frac{dS}{dt}\right) = \frac{\mu X}{Y_{x/s}}$$

$$q = \left(-\frac{1}{X} \frac{dS}{dt}\right) = q_{max} \frac{S}{K_S + S} \quad \text{Monod}$$

$$q = \left(-\frac{1}{X} \frac{dS}{dt}\right) = q_{max} \frac{S}{K_S + S + \frac{S^2}{K_i}} \quad \text{Andrews}$$

Figura 3.1. Cinética de biodegradación de efluentes de foto-Fenton a dos concentraciones de plaguicidas iniciales

En el tratamiento de aguas con elevadas concentraciones de plaguicidas, se plantea como estrategia para evitar una baja biodegradabilidad, la mezcla del efluente fotocatalítico con una fuente de carbono biodegradable. Esta combinación de foto-Fenton y aclimatación del fango

mediante ciclos discontinuos secuenciales ha permitido la biodegradación total de una mezcla concentrada de plaguicidas ( $500 \text{ mg L}^{-1}$  DOC) en  $\sim 5$  h con una eficiencia del 90%.

### 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 influence of pesticide concentration, expressed as dissolved organic carbon (DOC), on combined solar photo-Fenton and biological oxidation treatment was studied using wastewater containing a mixture of five commercial pesticides, Vydate, Metomur, Couraze, Ditumur and Scala. Two initial DOC concentrations,  $200 \text{ mg L}^{-1}$  and  $500 \text{ mg L}^{-1}$  were assayed. Variation in biodegradability with photocatalytic treatment intensity was tested using *Pseudomonas putida*. Thus the mineralisation required for combining with biodegradation of intermediates by activated sludge was 33% and 55% at  $200 \text{ mg L}^{-1}$  and  $500 \text{ mg L}^{-1}$ , respectively. Biotreatment was carried out in a stirred tank in sequencing batch reactor (SBR) mode. As revealed by the biodegradation kinetics, intermediates generated at the higher pesticide concentration caused lower carbon removal rates in spite of the longer photo-Fenton treatment time applied. One strategy for treating water with high concentrations of pesticides and overcoming the low biodegradability of photo-Fenton intermediates is to mix it with a biodegradable carbon source before biological oxidation. This combination of photo-Fenton and acclimatized activated sludge in several SBR cycles led to complete biodegradation of a concentrated pesticide solution of  $500 \text{ mg L}^{-1}$  DOC in  $\sim 5$  h with a carbon removal efficiency of 90%.*

### Publicaciones

A. García-Ripoll, A. M. Amat, A. Arques, R. Vicente, M. M. Ballesteros Martín, J. A. Sánchez Pérez, I. Oller, S. Malato. Confirming *P. putida* as a reliable bioassay for demonstrating biocompatibility enhancement by solar photo-oxidative processes of a biorecalcitrant effluent. *Journal of Hazardous Materials*. 162(2-3):1223-1227 (2009)

A. Zapata, T. Velegraki, J. A. Sánchez Pérez, D. Mantzavinos, M. I. Maldonado, S. Malato. Solar photo-Fenton treatment of pesticides in water: effect of iron concentration on degradation and assessment of ecotoxicity and biodegradability. *Applied Catalysis B: Environmental*. 88: 448-454 (2009)

M. M. Ballesteros Martín, J. A. Sánchez Pérez, J. L. Casas López, I. Oller, S. Malato Rodríguez. Degradation of a four-pesticide mixture by combined photo-Fenton and biological oxidation. *Water Research*. 43: 653-660 (2009)

A. Zapata, I. Oller, E. Visan, J. A. Sánchez Pérez, M. I. Maldonado, S. Malato. Evaluation of operational parameters involved in solar photo-Fenton degradation of a commercial pesticide mixture. *Catalysis Today* 14 (1-2): 94-99 (2009)

M. M. Ballesteros Martín, J. A. Sánchez Pérez, J. L. García Sánchez, J. L. Casas López, S. Malato Rodríguez. Effect of pesticide concentration on the degradation process by combined solar photo-Fenton and biological treatment. *Water Research*. 43: 3838-3848 (2009)

M. M. Ballesteros Martín, J. A. Sánchez Pérez, J. L. García Sánchez, J. L. Casas López, S. Malato Rodríguez. C-Removal kinetics in sequencing batch reactors for degradation of pesticide mixtures pre-treated by Photo-Fenton. 2<sup>nd</sup> European Conference on Environmental Applications of Advanced Oxidation Processes (EAAOP-2). Nicosia (Cyprus) 9-11 September 2009

### **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)); Manuel I. Maldonado, ([mignacio.maldonado@psa.es](mailto:mignacio.maldonado@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:** En curso.

**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 de CIESOL.

#### **Objetivos:**

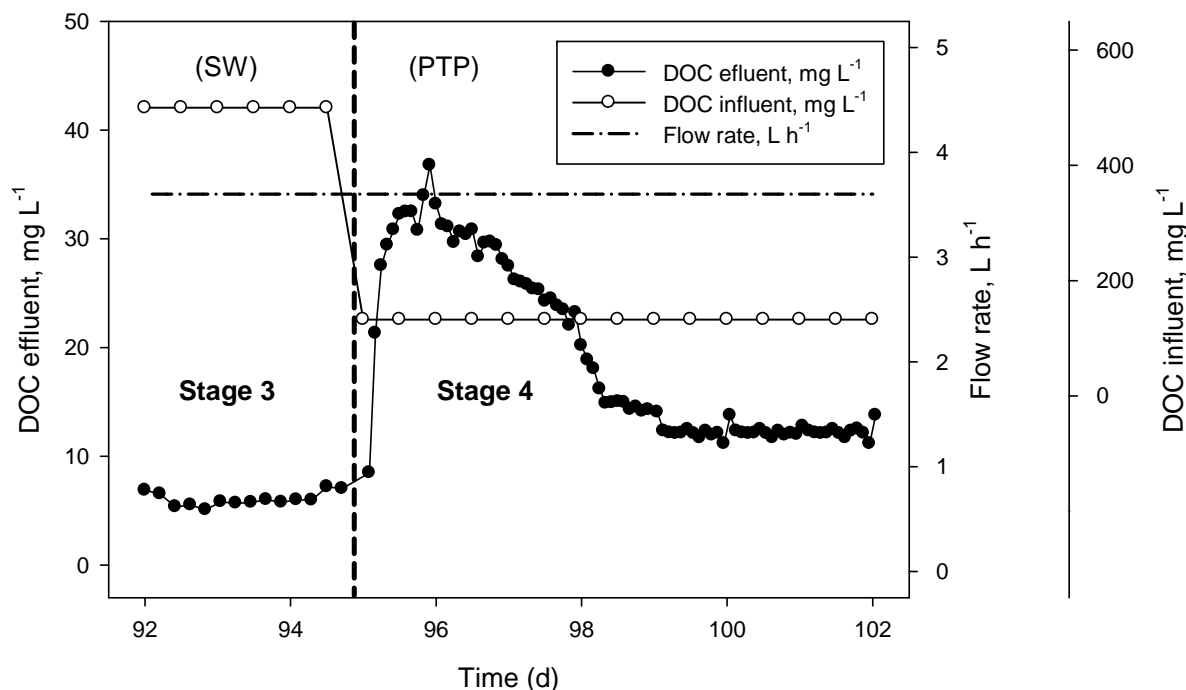
1. Estudiar la foto-degradación de contaminantes persistentes en aguas residuales y la toxicidad/biodegradabilidad de los intermedios de reacción generados.

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.

### Resultados durante 2009

Se han ensayado cuatro tests (*Pseudomonas putida*, Zahn-Wellens, razón DBO/DQO y respirometría) para seguir la mejora en la biodegradabilidad mediante el tratamiento con foto-Fenton de un agua contaminada con una mezcla de cinco plaguicidas comerciales (Vydate, Metomur, Couraze, Ditimur y Scala) a partir de una concentración de carbono orgánico disuelto inicial de 200 mg L<sup>-1</sup>. Se ha realizado un estudio comparativo teniendo en cuenta la repetitividad y precisión de cada ensayo. El test con *P. putida* requiere un menor tiempo y utiliza un inóculo normalizado, constituyendo una alternativa válida a otros ensayos menos precisos y tediosos.

Existe poca información sobre la integración de la tecnología de membranas para tratamiento biológico (MBR) y oxidación avanzada mediante foto-Fenton. Se ha demostrado la viabilidad de este sistema combinado para tratar aguas contaminadas con plaguicidas, obteniéndose un efluente final de gran calidad apto para su reutilización, con bajas concentraciones de materia orgánica y ausencia de plaguicidas, sólidos en suspensión y muy baja turbidez, con porcentajes de eliminación de C superiores al 95% (Figura 3.2).



**Figura 3.2.** Evolución del Carbono Orgánico Disuelto (DOC) en el efluente del MBR durante la transición entre la alimentación (Stage 3) con aguas residuales sintéticas (SW) y la alimentación con aguas con plaguicidas (PTP) foto-tratadas (Stage 4)

**Publicaciones**

M. M. Ballesteros Martín, J. L. Casas López, I. Oller; S. Malato Rodríguez, J. A. Sánchez Pérez. A comparative study of different tests for biodegradability enhancement determination during AOP treatment of recalcitrant toxic aqueous solutions. *Chemosphere*, **2009**, bajo revision.

Casas López J. L., Cabrera Reina A., Ortega Gómez E., Ballesteros Martín M. M., Malato Rodríguez S., Sánchez Pérez J. A. Integration of Solar Photocatalysis and Membrane Bioreactor for Pesticides Degradation. *Separation Science and Tecnology*, **2009**, aceptado.

J. L. Casas López, J. A. Sánchez Pérez, M. M. Ballesteros Martín, J. L. García Sánchez, S. Malato Rodríguez. Integration of solar photocatalysis and membrane bioreactor for pesticides degradation. 2<sup>nd</sup> European Conference on Environmental Applications of Advanced Oxidation Processes (EAAOP-2). Nicosia (Cyprus) 9-11 September **2009**.

J. A. Sánchez Pérez, J. L. García Sánchez, J. L. Casas López, M. M. Ballesteros Martín, A. Zapata, S. Malato Rodríguez. A new kinetic approach of photo-Fenton reactions for organics degradation. 2<sup>nd</sup> European Conference on Environmental Applications of Advanced Oxidation Processes (EAAOP-2). Nicosia (Cyprus) 9-11 September **2009**.

**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.*

*Four biodegradability tests (Pseudomonas putida bioassay, Zahn-Wellens test, BOD<sub>5</sub>/COD ratio and respirometry assay) have been used to determine the biodegradability enhancement during the treatment of wastewater containing 200 mg L<sup>-1</sup> of dissolved organic carbon (DOC) of a five commercial pesticides mixture (Vydate, Metomur, Couraze, Ditumur and Scala) by an advanced oxidation process (AOP). A comparative study was carried out taking into account repeatability and precision of each biodegradability test. The P. putida test requires a shorter time to obtain reliable results using a standardized inoculum and constitutes a worthwhile alternative to estimate biodegradability in contrast to others less accurate or more time consuming methods.*

*There is a lack of research about the integration of photo-Fenton oxidation process with biodegradation in membrane bioreactor (MBR). We have demonstrated the viability of the coupled system to treat toxic wastewater containing pesticides. The effluent obtained in the coupled system was high quality water ready to reuse, with low residual DOC concentration,*

*absence of pesticides, absence of solids and low turbidity, achieving carbon removal percentages higher than 95%.*

### **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 2009:** Declarados confidenciales

### **3.4. ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE OXIDACIÓN AVANZADA A EFLUENTES LÍQUIDOS CON ELEVADA DQO.**

**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)); M. I. Maldonado ([mignacio.maldonado@psa.es](mailto:mignacio.maldonado@psa.es))

**Fuente de financiación:** BEFESA Gestión de Residuos Industriales

**Duración prevista:** Octubre 2009 – octubre 2010.

**Situación:** en curso.

**Antecedentes:** Befesa está interesada en desarrollar un estudio de viabilidad centrado en la aplicación de técnicas de oxidación avanzada en efluentes líquidos con elevada DQO, en colaboración con el Grupo de Investigación "Ingeniería de bioprocesos y tecnologías del agua, BIO-263" con actividad en CIESOL

**Objetivos:** Desarrollar pruebas a escala laboratorio y extrapolar su aplicación a escala demostrativa para la utilización de técnicas de oxidación avanzada con el fin de descontaminar efluentes líquidos con elevada DQO.

**Resultados durante 2009:** Declarados confidenciales

### **3.5. OTROS**

Se ha incorporado a CIESOL el Dr. Lucas Santos-Juanes Jordá, mediante un contrato Juan de la Cierva (2009), procedente de la Universidad Politécnica de Valencia, y desde CIESOL la Dra. Menta Ballesteros Martín ha obtenido un contrato Juan de la Cierva (2009) para trabajar en la PSA.

Asimismo, en 2009 se ha firmado el contrato de investigación para la realización de un estudio denominado “Investigación, innovación y desarrollos en depuración y desalación de aguas para la planta de torre central Gemasolar” con la empresa GEMASOLAR 2006, S.A. sujeto a la aprobación de una ayuda solicitada por la Empresa al CDTI (Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial).

También se presentó un proyecto en la Convocatoria de 26/12/2008, VI Plan Nacional 2008-2011 titulado “Integración de procesos de fotocátalisis solar en la depuración biológica de aguas residuales para la eliminación de contaminantes emergentes (EDARSOL)” que no ha sido financiado.



## 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 2009:** Se han publicado/aceptado 11 artículos en revistas, 1 capítulo de libro, 25 en congresos y se ha defendido una tesis doctoral.



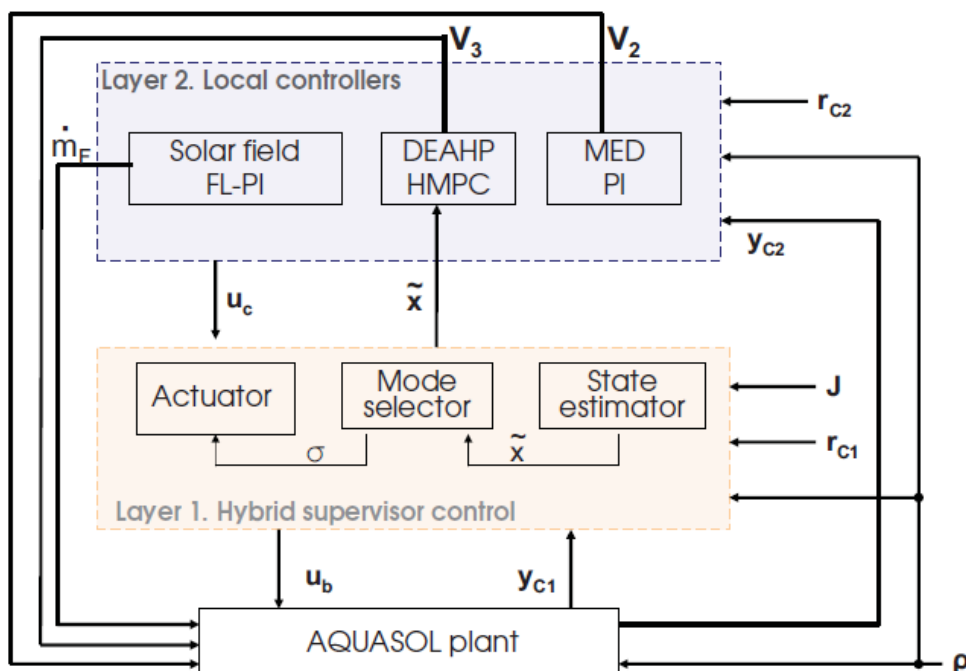


Figura 4.1. Modelo híbrido de una planta desaladora solar

**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 11 journal papers, 1 book chapter, 25 conference papers and 1 PhD Thesis dissertation.*

**Publicaciones.**

Lidia Roca Sobrino: Contribuciones al modelado y control de una planta de desalación solar. *Tesis*. Directores: Manuel Berenguel Soria y Luis José Yebra Muñoz. Julio de **2009**. Sobresaliente cum laude por unanimidad.

Pawlowski, A., J.L. Guzmán, F. Rodríguez, M. Berenguel, J. Sánchez, S. Dormido. Factory Automation, chapter Study of event-based sampling techniques and their influence on greenhouse climate control with wireless sensors network. In-Tech, Vienna. ISBN: 978-953-7619-42-8, **2009**.

Álvarez, J.D., L. Yebra, M. Berenguel. Adaptive repetitive control for resonance cancellation of a distributed solar collector field. *International Journal of Adaptive Control and Signal Processing*, 23(4), pp. 331-352, **2009**.

Álvarez, J.D., J.L. Guzmán, L.J. Yebra, M. Berenguel. Hybrid modeling of central receiver solar power plants. *Simulation modelling practice and theory*, vol. 17 (4), pp. 664-679, **2009**.

Cirre, C.M., M. Berenguel, L. Valenzuela, R. Klempous. Reference governor optimization and control of a distributed solar collector field. *Eu. J. Operational Research*,. 193, 709-717, 2009.

El Fadar, A., A. Mimet, M. Pérez. Modelling and performance study of a continuous adsorption refrigeration system driven by parabolic trough solar collector. *Solar Energy*, 83, pp. 850-861, **2009**.

El Fadar, A., A. Mimet, A. Azzabakh, M. Pérez, J. Castaing, Study of a new solar adsorption refrigerator powered by a parabolic trough collector. *Applied Thermal Engineering*, 29,. 1267-1270, **2009**.

El Fadar, A., A. Mimet, M. Pérez. Study of an adsorption refrigeration system powered by parabolic trough collector and coupled with a heat pipe. *Renewable Energy*, 34, pp. 2271-2279, **2009**.

González, R., F. Rodríguez, J. Sánchez-Hermosilla, J. G. Donaire. Navigation techniques for mobile robots in greenhouses. *Applied Engineering in Agriculture*, pp. 153-165, **2009**.

Guzmán, J.L., T. Álamo, M. Berenguel, S. Dormido, E.F. Camacho. A robust constrained reference governor approach using linear matrix inequalities, *J. Process Control*, 19, 773-784, **2009**.

Normey-Rico, J., J.L. Guzmán, S. Dormido, M. Berenguel, E.F. Camacho. An unified approach for DTC design using interactive tolos. *Control Engineering Practice*, 17, pp. 1234-1244, **2009**.

Pawlowski, J. L. Guzmán, F. Rodríguez, M. Berenguel, J. Sánchez, and S. Dormido. Simulation of Greenhouse Climate Monitoring and Control with Wireless Sensor Network and Event-Based Control. *Sensors*, 9, 232-252, **2009**.

Roca, L., J.L. Guzmán, J.E. Normey-Rico, M. Berenguel, L. Yebra. Robust constrained predictive feedback linearization controller of a collector field of a solar desalination plant. *Control Engineering Practice*, 17, pp. 1076-1088, **2009**.

Bonilla, J., L. Roca, J. González, L. Yebra. Modelling and real-time simulation of heliostat fields in central receiver plants. Mathmod 09, Vienna, Austria, **2009**.

Bonilla, J., L. Roca, L.J. Yebra, S. Dormido. Real-Time simulation of CESA-1 central receiver solar thermal power plant. 7<sup>th</sup> International Modelica Conference, Como, Italy, **2009**.

Bonilla, J., L.J. Yebra, E. Zarza, S. Dormido. Chattering in dynamic mathematical two-phase flow models. European Control Conference 2009, Budapest, Hungary, **2009**.

Castilla, M.M., J.L. Guzmán, J.C. Moreno, F. Rodríguez. Remote laboratory for a flexible manufacturing cell. 8<sup>th</sup> IFAC Symposium on Advances in Control Education – ACE09, Kumamoto, Japan, **2009**.

González, R., M. Fiacchini, T. Álamo, J.L. Guzmán, F. Rodríguez. Adaptive control for a mobile robot under slip conditions using an LMI-based approach. European Control Conference, Budapest, Hungary, **2009**.

González, R., F. Rodríguez, J.L. Guzmán, M. Berenguel. Comparative study of localization techniques for mobile robots based on indirect Kalman Filter. 40<sup>th</sup> International Symposium on Robotics, pp. 253-258, Barcelona, Spain, 2009.

González, R., F. Rodríguez, J.L. Guzmán, M. Berenguel. Localization and control of tracked mobile robots under slip conditions. IEEE Conference on Mechatronics, Málaga, Spain, **2009**.

González, R., M. Fiacchini, J.L. Guzmán, T. Álamo, Robust Tube-based MPC for Constrained Mobile Robots Slip Conditions. Joint 48<sup>th</sup> IEEE Conference on Decision and Control and 28<sup>th</sup> Chinese Control Conference, Shanghai, China, **2009**.

Gruber, J.C., J.L. Guzmán, F. Rodríguez, C. Bordons, M. Berenguel. Nonlinear Model Predictive Control of Greenhouse Temperature using a Volterra Model. European Control Conference, Budapest, **2009**.

Guzmán, J.L., D. Rivera, S. Dormido, M. Berenguel. ITSIE: an interactive software tool for system identification education. SYSID 2009, Saint Maló, France, **2009**.

Guzmán, J.L., K.J. Aström, T. Hägglund, S. Dormido, M. Berenguel, Y. Piguet. Interactive Learning Module for Control Interaction Understanding. European Control Conference, Budapest, Hungary, **2009**.

Guzmán, J.L., D.E. Rivera, S. Dormido, M. Berenguel. Teaching System Identification Through Interactivity. 8<sup>th</sup> IFAC Symposium on Advances in Control Education. Kumamoto, Japan, **2009**.

Martínez, G., J.L. Guzmán, M. Berenguel, S. Dormido. An open-source graphical library for the development of interactive tools. 8<sup>th</sup> IFAC Symposium on Advances in Control Education. Kumamoto, Japan, **2009**.

Muñoz, J.A., J.L. Guzmán, F. Rodríguez, M. Berenguel, A. Pawlowski. Virtual lab for programmable logic controllers. 14<sup>th</sup> IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation – ETFA2009, Mallorca, Spain, **2009**.

Pawlowski, A., J. L. Guzmán, F. Rodríguez, I. Berenguel. Event-Based Packet Scheduling for Wireless Sensor Networks. In 4th Internacional Conference on Broadband Communication, Information Technology & Biomedical Application. Wroclaw, Poland. Proceedings BroadCom 2009, ISBN 978-83-749-470-1, paper 110, **2009**.

Pawlowski, A., J.L. Guzmán, F. Rodríguez, M. Berenguel, S. Dormido. The influence of event-based sampling techniques on data transmission and control performance. 14<sup>th</sup> IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation – ETFA2009, Mallorca, Spain, **2009**.

Roca, L., J.L. Guzmán, M. Berenguel, L. Yebra. Hybrid Control for a Solar Desalination Plant. IFAC Int. Conference on Analysis and Design of Hybrid Systems, ADHS09. Zaragoza, Spain, **2009**.

Sánchez, J.A., F. Rodríguez, J.L. Guzmán, M.R. Arahál, M.D. Fernández. Modelling of tomato crop transpiration dynamic. International Symposium on high technology for greenhouse systems - Greensys 2009, Quebec, Canada, **2009**.

Torríco, B.C., L. Roca, J. Normey-Rico, J.L. Guzmán, L. Yebra. Predictive temperature control of solar collectors in a desalination plant. European Control Conference, Budapest. **2009**.

Yebra, L.J., M. Berenguel, L. Roca, J. Bonilla, S. Dormido, E. Zarza. Object oriented modelling and simulation of ACUREX solar thermal power plant. 6<sup>th</sup> Vienna International Conference on Mathematical Modelling - Mathmod Conference, Vienna, **2009**.

Cañadas, J., I. M<sup>a</sup> Segovia, F. Rodríguez, S. Túnez. Aplicación de los sistemas expertos en la supervisión y control de cultivos bajo invernadero. Agroingeniería 2009, Lugo, **2009**.

Fernández, I., J. Peña, J.L. Guzmán, M. Berenguel, F. Ación. Modelado y control del pH de un fotobioreactor tubular. XXX Jornadas de Automática, Valladolid, España, **2009**.

Montoya R., A.P., Rodríguez, F., Guzmán, J.L. Obtención de modelos reducidos para el diseño de controladores de la temperatura interior de invernaderos utilizando ventilación natural. Agroingeniería 2009, Lugo, **2009**.

Rodríguez, C., J.L. Guzmán, F. Rodríguez, M. Berenguel. Control predictivo de la temperatura interior de un invernadero con ventilación haciendo uso de transformación de restricciones. XXX Jornadas de Automática, Valladolid, España, **2009**.

Sánchez, J., M. Berenguel, J.L. Guzmán, F. Ación, J.C. López. Estrategias de control de temperatura incrementando la concentración de CO<sub>2</sub> por combustión en cultivo bajo plástico. V Congreso Nacional y II Congreso Ibérico de Agroingeniería, Lugo, España, **2009**.

## **4.2 CONTRATO CON GEMASOLAR S.A. “SATOHE” ALMACENAMIENTO DE SALES EN RECEPTOR CENTRAL”**

**Participantes:** Grupo de Inv. “Automática, Electrónica y Robótica” (CIESOL, Univ. de Almería).

**Contactos:** M. Berenguel ([beren@ual.es](mailto:beren@ual.es)).

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

**Duración prevista:** Mayo 2008 – Diciembre 2010.

**Situación:** En desarrollo.

**Antecedentes:** El alcance de la colaboración resumida en este documento consiste en el asesoramiento en la etapa de modelado en instalaciones termosolares.

**Objetivos:** Asesoramiento en:

- Desarrollo de un modelo dinámico de caja negra construido usando redes neuronales artificiales. Desarrollo de una interfaz gráfica que permita utilizar el modelo para entrenamiento de operadores. Diseño de algoritmos de control basados en el modelo desarrollado.
- Estudio de viabilidad de algoritmos de caracterización de heliostatos.

**Resultados durante 2009:** Declarados confidenciales

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

**Participantes:** Ver sección 7.1

**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)). <http://www.ciemat.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 informe CIESOL del año 2008.

#### **Objetivos del grupo de modelado y control automático en el proyecto:**

Los objetivos fundamentales del grupo de modelado y control automático están relacionados con la monitorización y control jerárquico de las instalaciones, fundamentalmente en aspectos relacionados con la instalación de frío solar y el confort del edificio.

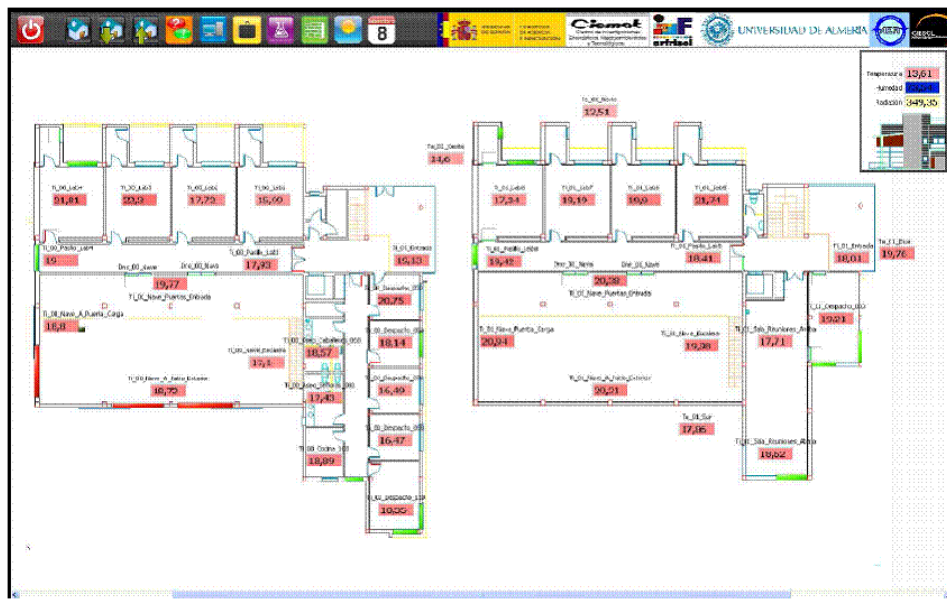
#### **Resultados durante 2009:**

- Finalización de los sistemas de adquisición de datos (SCADAS) en distintos Cdi.
- Desarrollo de estrategias de control del campo solar y de la instalación de frío solar.
- Desarrollo de sistemas automáticos de detección de personas en habitaciones.
- Análisis de confort en Cdi CIESOL.
- Planteamiento de estrategias de control jerárquico de control de confort en edificios.

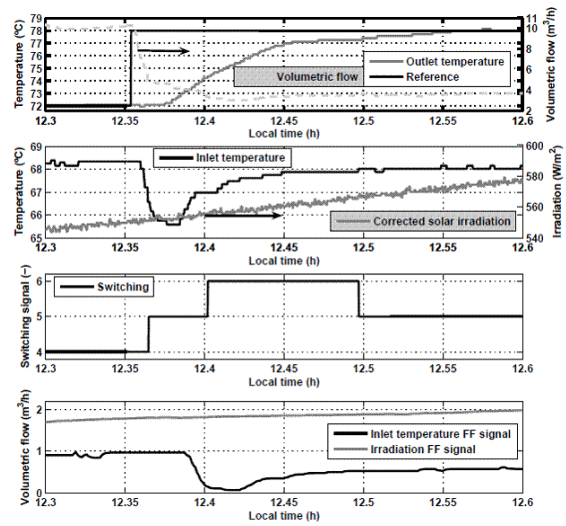
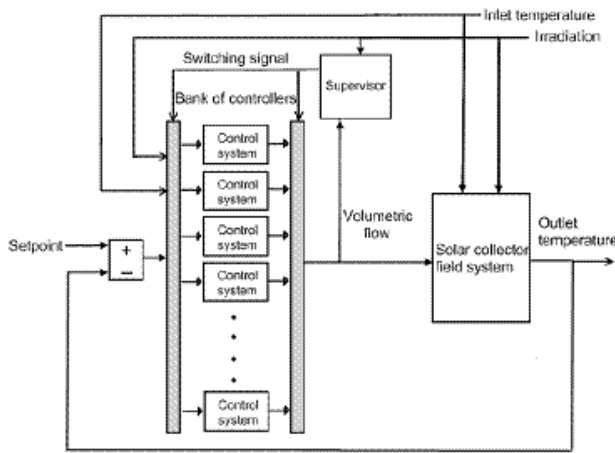
#### **Abstract**

*The main activities during 2009 in this project have been related to the monitoring and hierarchical control of the installations, mainly in aspects related to the solar cooling system and control confort inside the building. The main results during 2009 are:*

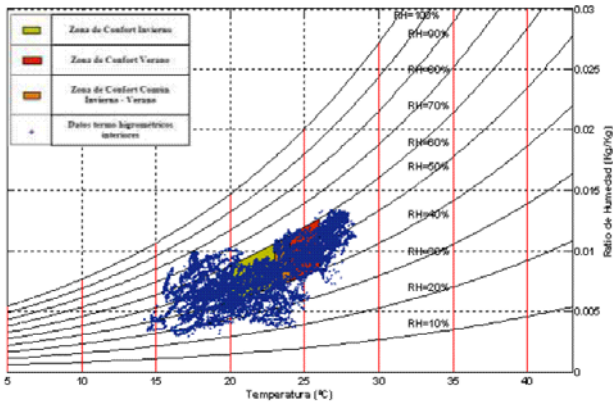
- *Installation of SCADA systems in the different buildings.*
- *Design of solar field control strategies and of the solar cooling installation.*
- *Design of automatic control systems for detection of persons in rooms.*
- *Confort analysis in CIESOL.*
- *Design of hierarchical control strategies for controlling confort in buildings.*



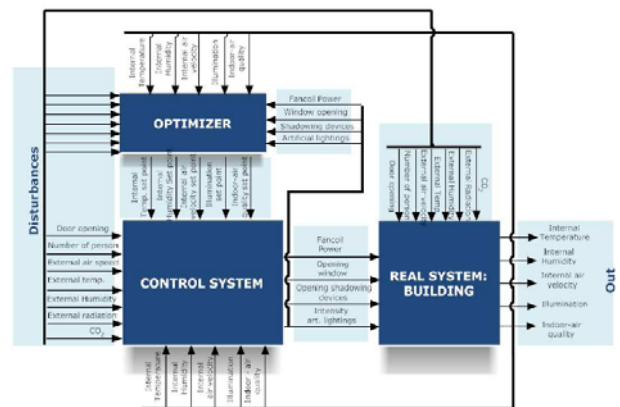
a) SCADAs.



b) Control de la instalación de frío solar



c) Análisis de confort.



d) Control jerárquico.

**Figura 4.2.** Actividades en ARFRISOL 2009

**Publicaciones.**

Arahal, M.R., A. Nuñez-Reyes, I. Alvarado, F. Rodríguez. Agrupaciones de modelos locales con descripción externa: aplicación a una planta de frío solar. RIAI-Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial, Vol. 6, pp. 51-62, **2009**.

Pasamontes, M., J.D. Álvarez, J.L. Guzmán, M. Berenguel. Hybrid Modeling of a Solar Cooling System. IFAC Int. Conference on Analysis and Design of Hybrid Systems, ADHS09. Zaragoza, Spain, **2009**.

Castilla, M.M., J.D. Álvarez, M. Berenguel, M. Pérez, J.L. Guzmán, F. Rodríguez. Análisis de confort térmico y consignas para control en el edificio bioclimático ARFRISOL del CIESOL en la Universidad de Almería. XXX Jornadas de Automática, Valladolid, España, **2009**.

Ferre, J.A., M. Pasamontes, M.M. Castilla, M.J. Jiménez, M. Pérez. Diseño, implantación y explotación de un sistema de adquisición de datos en el edificio bioclimático ARFRISOL del CIESOL en la Universidad de Almería. XXX Jornadas de Automática, Valladolid, España, **2009**.



## 5. Actividades en Evaluación del Recurso Solar

### 5.1 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 2009:** Durante este año se han realizado las siguientes tareas:

- a. Parametrización de la radiación solar. Se ha desarrollado una parametrización de la radiación fotosintéticamente activa (PAR). El modelo desarrollado permite estimar la componente directa y difusa en condiciones de cielo despejado en diferentes intervalos horarios. Las variables de entrada utilizadas son: coeficiente de turbiedad de Ågström, albedo PAR y la altitud del lugar. Los resultados obtenidos por el modelo han sido comparados con medidas experimentales realizadas en 4 estaciones radiométricas, que tienen diferentes condiciones climáticas. Las estaciones se encuentran localizadas en Table Mountain, Boulder, Desert Rock y For Peck. Los resultados ponen de manifiesto que en todas las estaciones podemos estimar la radiación PAR instantánea, horaria y diaria con un error cuadrático medio, RMSE, inferior al 4% y una desviación media, MBE, inferior al 2%. Los resultados de este estudio se reflejan en el trabajo: “Global and direct photosynthetically active radiation parameterization for clear-sky conditions” (Bosch et al., 2009).

- b. Estimación de la radiación solar utilizando Redes Neuronales Artificiales: El método habitual para estimar la radiación solar es mediante medidas en tierra proporcionados por radiómetros en redes dispersas. La estimación de la radiación en lugares diferentes a las estaciones se realiza mediante interpolación o extrapolación de las medidas realizadas. Este método de interpolación / extrapolación es válido en lugares donde la variabilidad de la radiación no sea muy grande, pero resulta inadecuado si entre los puntos de recepción de datos se encuentran zonas cuyo comportamiento desde el punto de vista radiativo es muy diferente, como ocurre con aquellos lugares de una gran complejidad topográfica. Se ha desarrollado una Red Neuronal, en concreto un perceptrón multicapa, para estimar la radiación global diaria en zonas de topografía compleja. Para ello se disponen de medidas realizadas en 12 estaciones radiométricas situadas en la cara norte del Parque Nacional de Sierra Nevada, en el término municipal de Hueneja (Granada). La Red Neuronal se ha entrenado con medidas de una estación, denominada estación de referencia. Las variables de entrada a la red se han seleccionado utilizando la metodología de la Determinación Automática de la Relevancia. Los resultados proporcionados por el modelo se han comparado con las medidas realizadas en el resto de las estaciones siendo en todos los casos el error cuadrático medio, RMSE, inferior al 7.5% y una desviación media, MBE inferior al 2%. En este trabajo se pone de manifiesto que la metodología basada en Redes Neuronales proporciona unos resultados muy satisfactorios para calcular la radiación solar en zonas de topografía compleja utilizando datos de una sola estación radiométrica.
- c. Generación de mapas topográficos de radiación solar. Se ha desarrollado una metodología para estimar la radiación global diaria utilizando imágenes del satélite METEOSAT y Modelos Digitales del Terreno. Dicha metodología se basa en el cálculo de la radiación global utilizando el modelo Heliosat-II y, en el efecto que la topografía tiene sobre el balance de radiación que incide sobre la superficie terrestre. Para ello la radiación global estimada, en un determinado lugar, a partir de imágenes de satélite es corregida con el horizonte del mismo. Para tal fin se ha desarrollado un algoritmo de cálculo del horizonte. Los resultados ponen de manifiesto que esta metodología reduce un 5% la estimación de la radiación global diaria, con respecto al modelo Heliosat-II. Dicha metodología nos permite la generación de mapas de radiación solar, de la extensión que se precise. Los resultados de este estudio se reflejan en los trabajos: “Estimation of global daily irradiation in complex topography zones using digital elevation models and METEOSAT images: Comparison of the results” (Martínez-Durbán et al., 2009) y en la tesis doctoral “Radiación solar a partir de imágenes de METEOSAT. Análisis de incertidumbres”. Realizada por D<sup>a</sup> Bella de la Caridad Espinar Frías y dirigida por D. Luis Fernando Zarzalejo Tirado, D. Francisco Javier Batlles Garrido y D<sup>ña</sup>. Lourdes Ramírez Santigosa.
- d. Detección y clasificación de nubes. El conocimiento preciso de la cantidad de nubes presentes en el cielo es fundamental para evaluar los recursos energéticos solares de una determinada localidad. Las nubes son la principal causa de atenuación de la radiación solar; por ello se hace necesario el análisis tanto de la posición de la nube con respecto al sol, como los niveles de atenuación producidos por la misma. A lo largo de los años, el estudio de la cobertura nubosa y la influencia que ésta ejerce en la radiación en superficie, se ha abordado aplicando distintas metodologías, y a partir de datos de diferente naturaleza. Por una parte, encontramos autores que basan sus trabajos en imágenes de satélite, pero en los últimos años, el estudio de la cobertura nubosa también se está abordando mediante el uso de imágenes realizadas con cámaras de cielo. Se ha realizado una descripción estadística de las características observadas en las nubes que obstruyen el disco solar, basándonos en el análisis de las imágenes realizadas con una cámara de cielo hemisférica relacionadas con diferentes valores de atenuación en la radiación directa. Para ello se han analizado las características macrofísicas de los distintos tipos de nubes clasificados en función del

coeficiente kb (Radiación Directa/Radiación Extraterrestre). Los resultados de esta investigación se reflejan en el trabajo: “Clasificación de las nubes a partir de datos de radiación e imágenes de una cámara de cielo” (Masrtínez-Chico, M. y Batlles, F.J., 2010). Se ha desarrollado una metodología para la detección de nubes mediante imágenes multispectrales del satélite geostacionario MSG. Dicha metodología se basa en la aplicación sucesiva de test de umbrales físicos sobre cada píxel de la imagen ráster. Los resultados del método desarrollado muestran un buen funcionamiento a la hora de distinguir píxeles nubosos y despejados, así como un notable acuerdo entre el resultado de la detección y la situación real del cielo. Los resultados de este estudio se reflejan en el trabajo: “Detección de nubes mediante imágenes del satélite MSG” (Escriing et al., 2010)

### **Abstract**

*Solar radiation forecasting and evaluation is of major importance when designing and installing solar power stations, both thermal and photovoltaic. Prediction will provide information about the amount of electricity that is going to be generated in the plant. Evaluation will guarantee a correct emplacement of the solar power station.*

*The principal goal of this project will consist in solar radiation forecasting for a particular place and at one particular moment. For that, a methodology based on Artificial Neural Networks (ANN) will be employed. The methodology is placed in the field of the Artificial Intelligence and it will use as main input data, meteorological variables and cloud cover information. The cloud cover will be measured by means of a camera provided with a fisheye lens, along with wind and pressure measures, every 10 minutes. An analysis of the evolution over time of the preceding variables utilizing ANNs and chaos theory, could then lead to a very accurate forecast of radiation levels for short time intervals (a few hours typically).*

### **Publicaciones.**

Bosch, J.L.; López, G; Batlles, F.J. Global and direct photosynthetically active radiation parameterizations for clear-sky conditions. *Agricultura and Forest Meteorology*, 149, 146-158, **2009**.

Martínez-Durbán, M.; Zarzalejo, L.F.; Bosch, J.L.; Rosiek, S., Polo, J; Batlles, F.J. Estimation of global daily irradiation in complex topography zones using digital elevation models and METEOSAT images: Comparison of the results. *Energy Conversion and Management*, 50, 2233-2238, **2009**.

Espinar Frías, Bella de la Caridad. Radiación solar a partir de imágenes de METEOSAT. Análisis de incertidumbres. Tesis Doctoral. Universidad de Almería, **2009**.

Martínez-Chico, M.; Batlles, F.J. Clasificación de las nubes a partir de datos de radiación e imágenes de una cámara de cielo. Aceptado para su presentación en el libro de Actas “Meteorología y Energías Renovables”. XXXI Jornadas Científicas de la Asociación Meteorológica Española. **A celebrar en Sevilla, 1-3 de marzo de 2010**.

Escriing. H.; Batlles, F.J.; Bosch, J.L. Detección de nubes mediante imágenes del satélite MSG. Aceptado para su presentación en el libro de Actas “Meteorología y Energías Renovables”. XXXI Jornadas Científicas de la Asociación Meteorológica Española. **A celebrar en Sevilla, 1-3 de marzo de 2010**.

## **5.2. CONTRATO CON LA EMPRESA GEMASOLAR 2006, S.L. PARA LA REALIZACIÓN DEL PROYECTO “PREDICCIÓN DE NUBES SOBRE EL CAMPO DE COLECTORES SOLARES DE LA PLANTA GEMASOLAR”**

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

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

**Fuente de financiación:** GEMASOLAR 2006, S.L

**Duración prevista:** Septiembre de 2009-Diciembre 2012.

**Situación:** En curso

**Antecedentes:** Para estimar la radiación solar que incide sobre la superficie terrestre necesitamos tener en cuenta el efecto de las nubes. Las nubes reflejan, absorben y transmiten la radiación solar. La interacción de la radiación solar con las nubes depende de la altura de estas, así, las nubes bajas son más opacas que las nubes altas. Cuando el cielo no está totalmente cubierto por las nubes, la forma y posición de las mismas en relación al disco solar afecta también a la radiación incidente. Para medir la nubosidad se utiliza la fracción de cielo cubierto por las nubes. Estas medidas suelen proporcionarlas los observadores desde tierra, o mediante el análisis de imágenes obtenidas con una cámara de nubes. Un aspecto clave en el estudio de las nubes es el conocimiento de su distribución en el espacio y en el tiempo, así, como su clasificación.

**Objetivos:**

En este proyecto se pretende analizar la influencia de las nubes sobre el funcionamiento de una central termosolar. Para ello nos proponemos aplicar una metodología basada en Redes Neuronales Artificiales. La técnica de redes neuronales proviene originalmente del ámbito de la inteligencia artificial. Dicho ámbito constituye un área nueva, poderosa y notable dentro de la computación. Permite, por una parte, la creación de complejos sistemas inteligentes y, por otra, dar solución a numerosos problemas de la vida real en diferentes campos de aplicación. Se han alcanzado excelentes resultados en ingeniería, agricultura y meteorología. A pesar del espectacular avance de las técnicas de Inteligencia Artificial en los últimos años y su creciente implantación en la mayoría de las disciplinas científicas, su uso en la modelización de la radiación solar puede decirse que aún es incipiente.

**Resultados durante 2009.** Declarados confidenciales

## 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 Marzo 2010

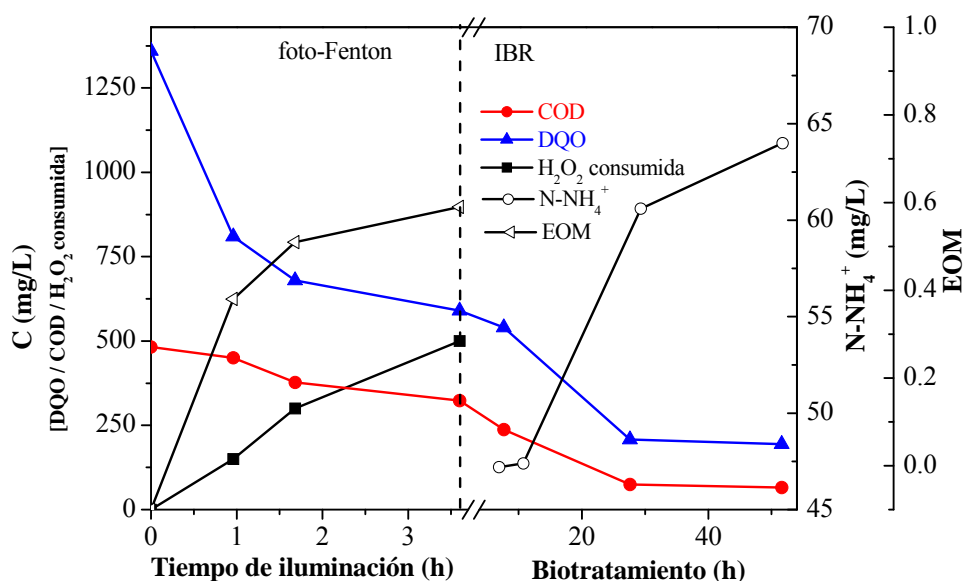
**Situación:** En curso

**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 2009:

Durante este año se ha trabajado en optimizar el tratamiento combinado foto-Fenton/biológico de diversas aguas residuales industriales. Una de ellas ha sido aquella procedente de lavar el plástico triturado de envases de plaguicidas en Albaida S.A. (La Mojenera, Almería). Para ello se ha utilizado una combinación entre tratamiento solar y un reactor con biomasa fijada sobre un lecho fijo. Se ha realizado un pretratamiento mediante foto-Fenton para reducir esa toxicidad y conseguir un nivel adecuado de biodegradabilidad, antes de proceder al tratamiento biológico. Esta agua es de una especial dificultad ya que contiene compuestos plaguicidas tan diversos como Imidacloprid, Dimetoato, Pirimetanil, Tiacloprid, Carbofurano, Metalaxilo, Spinosino-a, Bupirimato, Fenamifos, Azoxistrobin, Malation y Tebufenozida (todos ellos determinados mediante HPLC-TOF-MS). El tratamiento es efectivo hasta alcanzar concentraciones ínfimas (eliminación total o como mucho 0.1 mg/L solo en los casos de pirimetanil y tiacloprid) en el efluente. La figura 6.1 muestra el resultado del tratamiento global, que se completa en dos días.



**Figura 6.1.** Mineralización de COD y DQO, consumo de peróxido de hidrogeno, estado de oxidación medio y evolución del amonio en el sistema combinado foto-Fenton/biológico .

**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 20098 it has been demonstrated that a toxic industrial wastewater containing a biorecalcitrant compounds (pesticides) 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 wastewater containing a large proportion of nonbiodegradable compounds (Imidacloprid, Dimethoate, Pirimetanyl, Tiachloprid, Carbofurane, Methalayil, Spinosin-a, Bupirimate, Fenamiphos, Azoxistrobín, Malathion y Tebuphenozide) can be successfully treated combining photo-Fenton and biotreatment.*

**Publicaciones:**

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.*43, 661-668, **2009**.

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.*, 43, 1185-1191, **2009**.

Carla Sirtori, Ana Zapata, Sixto Malato, Wolfgang Gernjak, Amadeo R. Fernández-Alba, Ana Agüera. Solar photocatalytic treatment of quinolones: intermediates and toxicity evaluation. *Photochem. Photobiol. Sci.*, 8, 644-651, **2009**.

Sirtori C., Zapata A., Gernjak W., Malato S., Agüera A. Analytical assessment and fate of nalidixic acid and its main transformation products during the treatment of an industrial effluent

by coupling solar photo-Fenton and biooxidation. 2nd European Conference on Environmental Applications of Advanced Oxidation Processes. Sep 9<sup>th</sup>-11<sup>th</sup>, 2009, Cyprus.

## 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 2009:

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

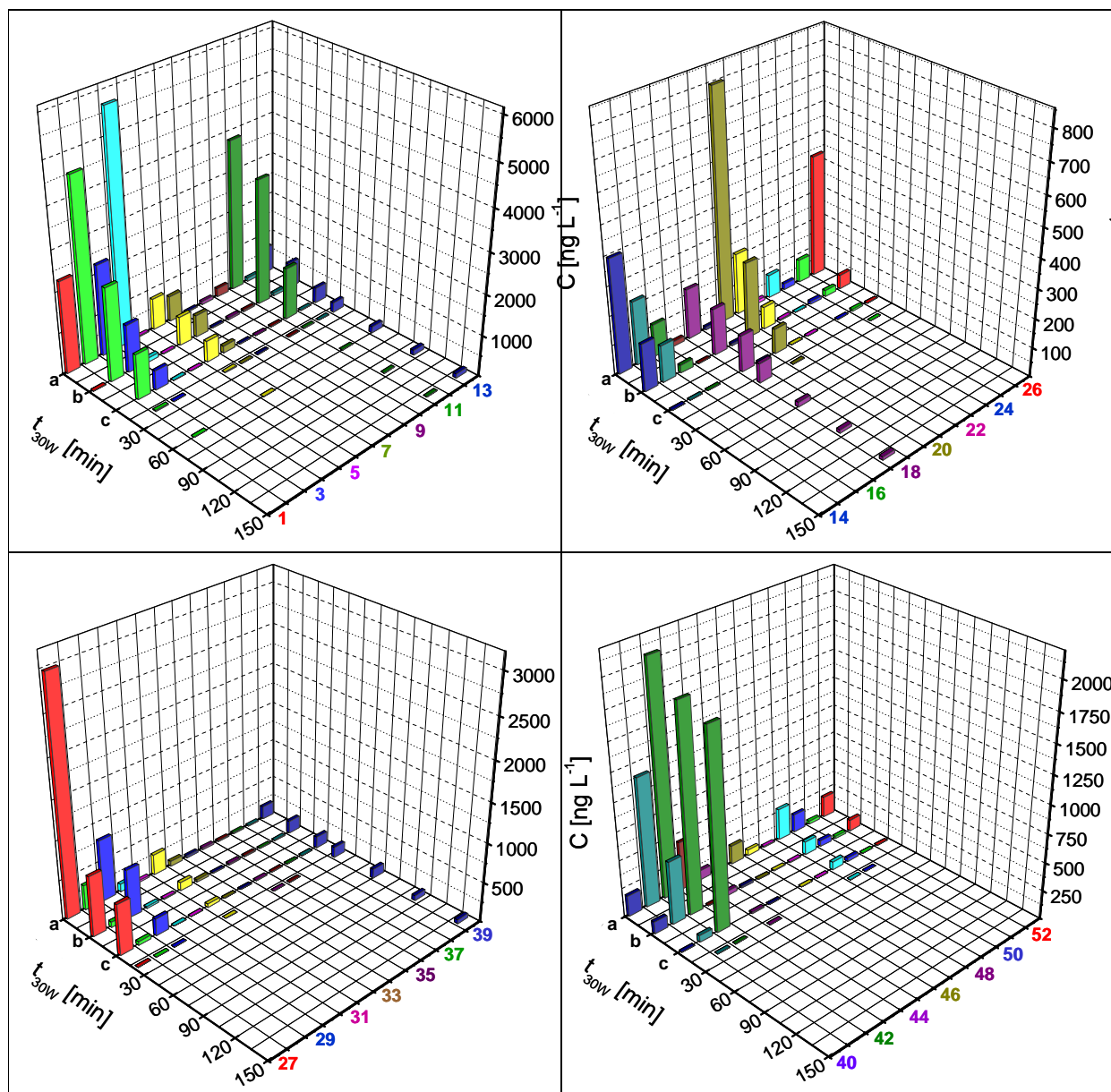
1. Desarrollo y puesta a punto de **métodos rápidos de screening** que permitan la identificación, de forma automatizada, de compuestos tanto seleccionados como no seleccionados, basados en el **empleo de librerías** o bases de datos de espectros, mediante el empleo de sistemas de GC-MS y LC-MS.
2. Desarrollo de estrategias de análisis para la **identificación de productos de transformación desconocidos** en procesos de degradación (Ej: ozonación, foto-Fenton), que permitan un mejor entendimiento de los procesos de tratamiento y garanticen la calidad del agua tratada.

3. Realización de **evaluaciones de riesgos** en diferentes depuradoras españolas para estimar, el riesgo para organismos del suelo, depredadores terrestres y personas asociado con el contenido en contaminantes emergentes y prioritarios presentes en los efluentes de las mismas si éstos reutilizan en riego. Los resultados muestran la necesidad de realizar tratamientos de regeneración que eliminen estos contaminantes, si bien, en el caso de contaminantes emergentes, la información toxicológica disponible para realizar este tipo de evaluaciones es insuficiente. Asimismo, se ha constatado un riesgo microbiológico muy bajo de infección por consumo de vegetales regados con agua depurada o regenerada.
4. Se ha realizado la evaluación analítica de los tratamientos avanzados aplicados por diferentes grupos de trabajo (**O<sub>3</sub> y O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, electrooxidación, foto-Fenton**) así como de **aplicaciones del agua tratada** (recarga de acuíferos, evaluación de filtros verdes, riego de hortalizas).
5. Se han tratado efluentes reales (ER) de EDAR de El Ejido y Almería mediante foto-Fenton a 5 y 20 mg/L de Fe a pH 3 y con 50 mg/L de hidrógeno peróxido, en planta piloto solar. Los resultados obtenidos (figura 6.2) muestran que de los 52 compuestos detectados inicialmente en los efluentes tratados, la mayoría se degradan por completo después de 30 minutos de iluminación.
6. También se han iniciado los primeros experimentos encaminados a evaluar la capacidad de foto-Fenton para desinfectar ER de acuerdo a la normativa incluida en el 1620/2007. La figura 6.3 muestra estos resultados preliminares y prometedores.

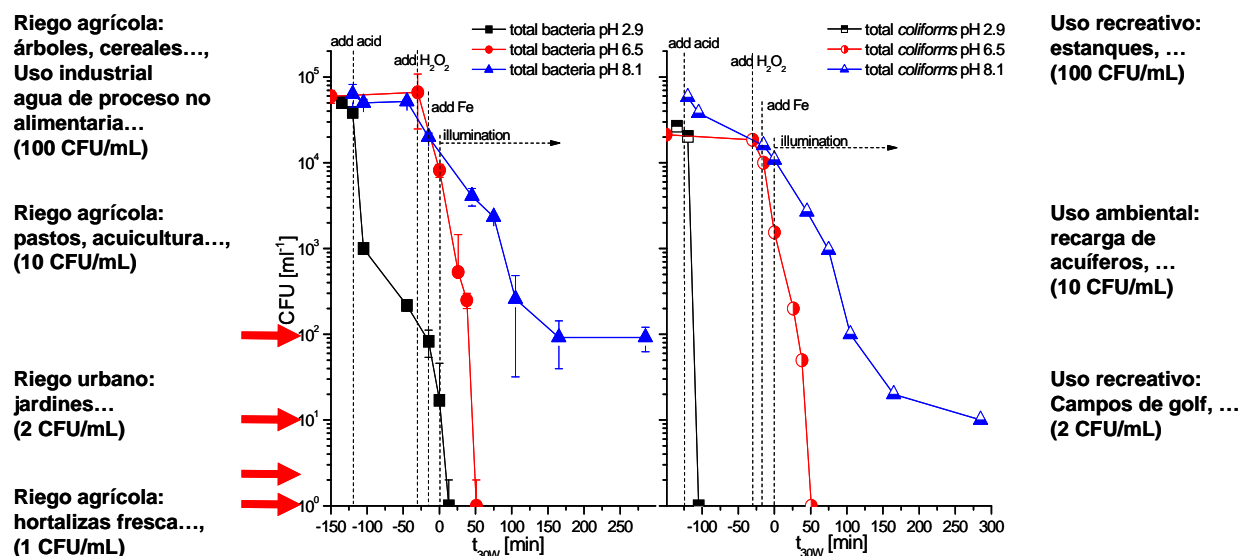
### Abstract

*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 2009, improved analytical methods available for a rapid and automatic screening of a large number of expected and non-expected organic pollutants, as well as their unknown transformation products have been developed. They have been applied to the determination of the efficiency of advanced oxidation processes (O<sub>3</sub> y O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, electrooxidación, foto-Fenton) as well as evaluation of different wastewater applications (recharge of aquifers, evaluation of green filters, irrigation). Risk assessment studies in different Spanish water treatment plants to estimate the risk for soil organisms, terrestrial predators and people associated with the content of emerging and priority pollutants in the effluents, have shown the need for regeneration treatments to remove these contaminants, as well as to improve the toxicological information available for these contaminants. Finally, CIESOL group has demonstrated that solar photo-Fenton can successfully degrade trace contaminants present in wastewater effluents*





**Figura 6.2.** Tratamiento de ER mediante foto-Fenton con 5 mg /L de Fe. (a) Inicial, (b) después de acidificación, (c) después de Fenton. Concentrations are in ng/L: 1, 4-AA; 2, 4-AAA; 3, 4-FAA; 4, 4-MAA; 5, Amitriptylin HCl; 6, Antipyrin; 7, Atenolol; 8, Atrazin; 9, Azithromycin; 10, Benzafibrate; 11, Caffein; 12, Carbamazepine; 13, Chlorfenvinphos; 14, Ciprofloxacina; 15, Citalopram HBr; 16, Clarithromycin; 17, Clofibric Acid; 18, Cotinine; 19, Diazepan; 20, Diclofenac; 21, Diuron; 22, Epoxi-Carbamazepine; 23, Erythromycin; 24, Famotidine; 25, Fenofibric Acid; 26, Furosemide; 27, Gemfibrozil; 28, Hidroclorotiazide; 29, Ibuprofen; 30, Indomethacin; 31, Isoproturon; 32, Ketoprofen; 33, Lincomycin; 34, Mefenamic Acid; 35, Mepivacain; 36, Metoprolol; 37, Metronidazol; 38, Nadolol; 39, Nicotine; 40, Norfloxacina; 41, Ofloxacina; 42, Paraxanthin; 43, Pravastatin; 44, Pirimidone; 45, Propanolol; 46, Ranitidine; 47, Salicilic Acid; 48, Simazine; 49, Sulfamethoxazole; 50, Sulfapyridine; 51, Trimethoprim; 52, Velafaxime..



**Figura 6.3.** Desinfección mediante Foto-Fenton convencional (pH 2.8, Fe 20 mg/L) de efluente de EDAR de El Ejido (Almería).

**Publicaciones:**

Muñoz, I; Tomàs, N; Mas, J; García-Reyes, J.F; Molina-Díaz, A; Fernández-Alba, A.R. Potential chemical and microbiological risks on human health from urban wastewater reuse in agriculture. Case study of wastewater effluents in Spain. *Environmental Science and Health, Part B: Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*, aceptado, **2009**.

Muñoz, I; Gómez, M. M; Fernández-Alba, A. R. Life Cycle Assessment of biomass production in a Mediterranean greenhouse using different water sources: Groundwater, treated wastewater and desalinated seawater. *Agricultural Systems*, 103 (**2009**), 1-9.

Nikolaus Klammerth, Wolfgang Gernjak, Sixto Malato, Ana Agüera, Bernhard Lendl. Photo-Fenton Decomposition of Chlorfenvinphos. Determination of Reaction Pathway. *Water Research* 43, **2009**, 441-449

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*, 144, **2009**, 124-130.

N. Klammerth, L. Rizzo, S. Malato, Manuel I. Maldonado, A. Agüera, A. R. Fernández-Alba. Degradation of fifteen emerging contaminants at µg L<sup>-1</sup> initial concentrations in MWTPs effluents by mild solar photo – Fenton process. *Water Research*, aceptado, **2009**.

Bueno, M.J.M., Agüera, A., Hernando, M.D., Gómez, M.J., Fernández-Alba, A.R. Evaluation of various liquid chromatography-quadrupole-linear ion trap-mass spectrometry operation modes applied to the analysis of organic pollutants in wastewaters. *J. Chromatogr. A* 1216, **2009**, 5995-6002.

Gómez, M.J., Gómez-Ramos, M.M., Agüera, A., Mezcuca, M., Herrera, S., Fernández-Alba, A.R. A new gas chromatography/mass spectrometry method for the simultaneous analysis of target and non-target organic contaminants in waters. *J. Chromatogr. A* 1216, **2009**, 4071-4082.

Rosal, R., Rodríguez, A., Perdígón-Melón, J.A., Petre, A., García-Calvo, E., Gómez, M.J., Agüera, A., Fernández-Alba, A.R. Degradation of caffeine and identification of the transformation products generated by ozonation. *Chemosphere*, 74, **2009**, 825-831.

Muñoz, I., Rodríguez, A., Rosal, R., Fernández-Alba, A.R. Life Cycle Assessment of urban wastewater reuse with ozonation as tertiary treatment. A focus on toxicity-related impacts. *Sci. Total Environ.*, 407, **2009**, 1245-1256.

Coelho, A.D., Sans, C., Agüera, A., Gómez, M.J., Esplugas, S., Dezotti, M. Effects of ozone pre-treatment on diclofenac: Intermediates, biodegradability and toxicity assessment. *Sci. Total Environ.* 407, **2009**, 3572-3578.

N. Klammerth, S. Malato, M. I. Maldonado, A. Agüera, A. R. Fernández-Alba. Application of photo-Fenton as a tertiary treatment of emerging contaminants in municipal wastewater. *Environ. Sci. Technol.* Aceptado, **2009**.

Sixto Malato, Isabel Oller, Pilar Fernández, Manuel I. Maldonado. La fotocatalisis solar y la reutilización de aguas: aplicación al tratamiento de contaminantes emergentes y desinfección en efluentes de EDAR. *Obras Urbanas*, Diciembre **2009**, 66-70.

A.R. Fernández-Alba. Evaluation of Ozone Waste Water Treatments and Studies Evaluating the Reuse of Treated Effluents. INNOVA-MED CONFERENCE 8-9 October **2009**, Girona, SPAIN, Conferencia Invitada

Muñoz, I; Rodríguez, A; Rosal, R; Molina-Díaz, A; Fernández-Alba, A.R. Análisis de Ciclo de Vida de la reutilización de agua residual urbana mediante ozonización. Impactos toxicológicos sobre el medio ambiente y las personas (Poster). Conferencia Nacional sobre la Reutilización del Agua. Madrid, 12 de mayo de **2009**.

Muñoz, I; Fernández-Alba, A. Environmental and human health risk from agricultural reuse of wastewater containing emerging and priority organic pollutants. Case study of wastewater effluents in Spain. (Poster). SETAC Europe Annual Meeting, 31 de may - 4 de june **2009**, Göteborg, Suecia.

Trovó A.G., Nogueira R.F.P., Agüera A., Fernández-Alba A.R., Malato S. Degradation of the antibiotic amoxicillin by photo-Fenton process – chemical and toxicological assessment. 2nd European Conference on Environmental Applications of Advanced Oxidation Processes (EAAOP2 2009) 9-11 September **2009**, Chipre. Poster.

Trovó A.G., Nogueira R.F.P., Agüera A., Fernández-Alba A.R., Malato S. Identification and toxicity of paracetamol intermediates during photo-Fenton process using different iron species. 2nd European Conference on Environmental Applications of Advanced Oxidation Processes (EAAOP2 2009) 9-11 September **2009**, Chipre. Poster.

Klammerth N., Malato S., Rizzo L., Agüera A., Maldonado M. Application of mild solar photo-Fenton as a tertiary treatment for the removal of emerging contaminants in urban wastewater. 2nd European Conference on Environmental Applications of Advanced Oxidation Processes (EAAOP2 2009) 9-11 September **2009**, Chipre. Oral

Malato S., Maldonado M.I., Fernández-Ibáñez P. and Oller I. Solar photocatalysis: large scale, solar-driven applications. 2nd European Conference on Environmental Applications of Advanced Oxidation Processes (EAAOP2 2009) 9-11 September **2009**, Chipre. Conferencia Plenaria

Sirtori C., Gernjak W., Malato S., Agüera A. Effect of the water composition in the kinetic and photodegradation pathway of trimethoprim by various solar processes. 2nd European Conference on Environmental Applications of Advanced Oxidation Processes (EAAOP2 2009) 9-11 September **2009**, Chipre. Oral

M.J. Gómez, M.M. Gómez-Ramos, O. Malato, S. Herrera, A. Ucles, A. Agüera, A.R. Fernández-Alba. Use of GC-MS and LC-TOF-MS in a large screening of contaminants and their

degradation products in waters. 2nd Latin American Pesticide Residue Workshop – LAPRW 2009.

Agüera, M.J. Gómez, C. Sirtori, A.R. Fernández-Alba Analytical strategies for the identification of unknown compounds generated in photodegradation processes. IX Reunión Científica de la Sociedad Española de Cromatografía y Técnicas Afines. XXXVIII-GCTA. Donostia-San Sebastián 28-30 Octubre 2009. Cartel.

Agüera, A.R. Fernanadez-Alba, M.J. Martinez-Bueno. Evaluación de contaminantes orgánicos y sus productos de transformación en aguas naturales y residuales mediante técnicas de espectrometría de masas. IV Congreso “La investigación ante la sociedad del conocimiento. Sostenibilidad y medio ambiente”. Alcoy (Alicante) 11-13 Noviembre 2009. Conferencia Invitada.

### **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 durante 2009:**

Se han realizado ensayos para evaluar el uso de agua residual urbana depurada tratada con Foto-Fenton solar como agua de riego en cultivos hortícolas, con el fin de comprobar el efecto del tratamiento, la presencia de contaminantes y los microorganismos presentes en el agua de riego sobre la planta y el sustrato. Para ello se utilizó una parcela al aire libre de 4 x 5 m. El riego y el suministro de fertilizantes, se realizó por medio de riego localizado por goteo. La parcela está dotada de dos redes distintas de riego A y B, y doce contenedores o macetas donde se sitúan las plantas, de forma que unas maceta recibe el riego de la red A (agua tratada con foto-Fenton solar) y otra de la red B (agua testigo). En el sustrato, agua de riego y planta se han realizado análisis microbiológicos (*E. coli*, *Salmonella* etc...) y análisis de contaminantes prioritarios y emergentes Asimismo se han determinado en el sustrato y agua parámetros físico-químicos (sólidos totales en suspensión, aniones, cationes, pH, CE etc..) y sobre el material vegetal parámetros de producción y calidad. Para la evaluación del agua tratada con foto-Fenton como agua de riego se realizaron dos ensayos. El primero se inició en junio de 2009 con cultivo de tomate. El segundo se comenzó en septiembre de 2009 con un cultivo de calabacín.

- El tratamiento con foto-Fenton solar disminuye por lo general los niveles microbiológicos y de los contaminantes analizados en el agua.

- Tras un mes de riego, en el sustrato regado con agua tratada con foto-Fenton se detectaron niveles bajos de *E. coli* del orden de (10 UFC/g).
- El primer ensayo realizado con cultivo de tomate, se suspendió al mes de su inicio a causa de un problema fitosanitario, causado por un insecto plaga (*Tuta absoluta*) que afecta ampliamente a los cultivos de tomate de la provincia de Almería.
- El segundo ensayo, que se realizó con plantas de calabacín se inició en septiembre de 2009 y finalizó en octubre de 2009, antes de que las plantas comenzaran a entrar en producción, a causa de un marchitamiento prematuro de las plantas regadas con agua procedente de foto-Fenton. Las conclusiones relativas a este ensayo aún no han sido elaboradas a la espera de los resultados de análisis realizados a suelo y planta.



(a)



(b)

**Figura 6.4.** (a) Cultivo de tomate en CIESOL (1er ensayo); (b) Cultivo de calabacín (2º Ensayo). Se observa que las plantas regadas con agua de foto-Fenton presentan marchitamiento.

Asimismo, se trabajó en un ensayo para evaluar agua residual urbana depurada microfiltrada como agua de riego en cultivos hortícolas. Este ensayo se realiza en invernadero con suelo arenado y sistema de riego por goteo. Para esto se dispone de una planta piloto de microfiltración de agua situada en el interior del invernadero. El agua residual urbana procedente de la depuradora se almacena en un depósito de 5000 l y se filtra a través de la membrana de microfiltración para uso como agua de riego. En la puesta en marcha de este equipo de microfiltración ha habido dos problemas fundamentales derivados del uso del agua residual depurada.

- El caudal de agua suministrado por la planta piloto, en un principio calculado para 100 l/h, no supera lo 60 l/h. Esto se debe a que el agua posee un nivel de ensuciamiento superior al esperado ( debido en parte a que la bomba que aspira el agua hacia la membrana de microfiltración esta situada en la parte inferior del tanque de almacenamiento y el agua presenta más materiales en suspensión a causa de la precipitación de éstos. ..)
- A causa del aumento de materiales en suspensión los filtros por los que debe pasar el agua se colmatan rápidamente, lo que impide que funcionen de forma continua. Esto hace que el agua microfiltrada almacenada no sea suficiente para el riego y sea necesario poner un sistema de filtros que permitan el trabajo de forma más continua de este equipo.

#### **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 2009, municipal wastewater, submitted to micro-filtration and Photo-Fenton treatments were applied for horticultural crops irrigation in a greenhouse on 480 m<sup>2</sup>, and in a small-scale device located in an outdoor area of 4 x 5 m and provided with twelve containers or pots, respectively. For crops in greenhouses, microfiltered wastewater used for irrigation presented two major problems arising from the high degree of suspended solids of this water: a) a reduction of the water flow provided by the pilot plant, with regard to expected, and b) a rapid clogging of the filters that hinder the operation continuously. Treatment with solar photo-Fenton decreased microbiological parameters and levels of contaminants in the water. After a month of irrigation, the soil had low levels of *E. coli* (10 CFU / g). However, there was a premature wilting in plants irrigated with water from photo-Fenton. The conclusions on this assay are pending on the results of analyses done on soil and plant.

**Publicaciones:**

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 Anal. Chem.*, 28, 676-694, **2009**.

Muñoz, I, Gómez-Ramos, M.M. Fernández-Alba, A.R. Environmental risk screening of pesticides in treated wastewater used for irrigation of a tobacco biomass crop. 2nd Latin American Pesticide Residue Workshop (LAPRW). Santa Fe, Argentina, 8-11 de junio, **2009**.

## 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 Módulos 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<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 de frío solar durante 2009:**

Se ha realizado una simulación para analizar el comportamiento de la instalación, utilizando como sistema de evacuación de calor el intercambio de calor con agua del subsuelo y tubos enterrados en el terreno. Los resultados ponen de manifiesto que la temperatura necesaria del agua del subsuelo para la correcta refrigeración del agua de salida de la máquina de absorción es del orden de 20 oC. Condiciones que se han demostrado que se dan en la Universidad de Almería. Con respecto a los tubos enterrados serán necesarios 300 m, para evacuar la energía procedente de la bomba de calor.

Se ha desarrollado una Red Neuronal artificial para calcular el rendimiento global de la instalación. En este sentido utilizando como variables de entrada las relativas al campo solar (caudal, temperatura de entrada y salida), máquina de absorción (generador, evaporador y condensador) así como otras variables meteorológicas como radiación global y temperatura del aire se ha desarrollado una RNA cuyas salidas son: Capacidad frigorífica (Cap), coeficiente de refrigeración (COP), y rendimiento global de la instalación ( $\mu$ ). Los resultados ponen de manifiesto que se puede obtener Cap, COP, y  $\mu$ , con un error cuadrático medio del orden del 1% y una desviación media nula.

### **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.*



## 8.- Master en Energía Solar

**Participantes:** CIESOL, Conserjería de Innovación Ciencia y Empresa, Sistemas de Calor S.L.

**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 IV Master (Curso Académico 2009-2010)

**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.

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

**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 2009:** El acto 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 13 alumnos.

## **9.- Actividades de transferencia tecnológica**

- Curso de Enseñanzas Propias de la Universidad de Almería titulado Simulación dinámica de instalaciones termosolares mediante TRNSYS en colaboración con la empresa AIGUASOL. 26, 28, 29 y 30 de abril de 2009.
- Curso de Verano de la Universidad de Almería “Edificación y Espacios Públicos Sostenibles” Vúcar (Almería), 13-17 de julio de 2009
- Participación en la mesa redonda “Oportunidades para la generación de empleo y nuevos yacimientos en el sector de las energías renovables en Andalucía” del programa "El desafío del empleo: retos de futuro" Confederación de Empresarios de Andalucía (CEA), en colaboración con el Servicio Andaluz de Empleo. Almería, 29 de septiembre de 2009
- Participación en el Foro de la Innovación: sector de las energías renovables. Programa InnoCámaras de las Cámaras de Comercio de Andalucía, con el apoyo económico del Fondo Europeo de Desarrollo Regional y de la Junta de Andalucía, 16 de octubre de 2009
- Curso de Experto en Redes de Emprendedores y Desarrollo Local Sostenible. Módulo 6: Sostenibilidad energética: Energías renovables Fundación Red Andalucía Emprende y Universidad de Almería. Abril-Mayo de 2009, en entorno virtual.
- Jornada de Puertas Abiertas del Centro de Investigación en Energía Solar CIESOL. En el marco del día solar europeo del programa Energy Intelligent Europe. 22 de mayo de 2009.
- Seminario de Iniciación Engineering Equation Solver, 1 y 2 de diciembre de 2009

## **Anexo**

**Director** Manuel Pérez García  
Profesor de la Universidad de Almería.  
[mperez@ual.es](mailto:mperez@ual.es)

**Subdirector** Sixto Malato Rodríguez  
Investigador de O.P.I. CIEMAT  
[Sixto.malato@psa.es](mailto:Sixto.malato@psa.es)

### **RESPONSABLES DE ACTIVIDADES**

	<b>Universidad de Almería</b>	<b>Plataforma Solar de Almería</b>
Organometálica y Fotoquímica	Antonio Romerosa. Catedrático de la Universidad de Almería. <a href="mailto:romerosa@ual.es">romerosa@ual.es</a>	Christoph Richter. Investigador de DLR en la Plataforma Soalr de Almería <a href="mailto:christoph.richter@dlr.de">christoph.richter@dlr.de</a>
Tratamiento de Aguas	Jose A. Sánchez. Catedrático de la Universidad de Almería. <a href="mailto:jsanchez@ual.es">jsanchez@ual.es</a>	Manuel I. Maldonado. Investigador de O.P.I. CIEMAT <a href="mailto:Mignacio.maldonado@psa.es">Mignacio.maldonado@psa.es</a>
Modelado y Control Automático	Manuel Berenguel. Catedrático la Universidad de Almería. <a href="mailto:beren@ual.es">beren@ual.es</a>	Luis Yebra. Investigador de O.P.I. CIEMAT <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. <a href="mailto:fbatlles@ual.es">fbatlles@ual.es</a>	Luis Zarzalejo Tirado. Investigador de O.P.I. CIEMAT <a href="mailto:lf.zarzalejo@ciemat.es">lf.zarzalejo@ciemat.es</a>
Química Ambiental	Amadeo R. Fernandez-Alba. Catedrático de la Universidad de Almería. <a href="mailto:amadeo@ual.es">amadeo@ual.es</a>	Sixto Malato Rodríguez. Investigador de O.P.I. CIEMAT <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. <a href="mailto:fbatlles@ual.es">fbatlles@ual.es</a>	M <sup>a</sup> José Jiménez. Investigador de O.P.I. CIEMAT <a href="mailto:mjose.jimenez@psa.es">mjose.jimenez@psa.es</a>

### **COMITÉ DE COORDINACIÓN**

José Luis Martínez Vidal (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**

Sebastián Dormido Catedrático de Informática y Automática de la UNED	Maria Luisa Castaño Subdirectora General de Coordinación de Centros Tecnológicos y Plataformas Científico-Tecnológicas del MICINN
Rafael van Grieken Catedrático de Ingeniería Química y Vicerrector de Inv. de la Universidad Rey Juan Carlos	David Serrano Catedrático de Ingeniería Química y Director de IMDEA-Energía