

CIESOL

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

Título de documento:

Informe de actividades 2010



Referencia: CIESOL-2010-Dirección-01
Revisión: A
Fecha: 15 Marzo 2011
Número de páginas: 45
Autor(s): Dr. Antonio Romerosa (UAL)
Dr. Christoph Richter (DLR-PSA)
Dr. José A. Sánchez (UAL)
Dr. Manuel I. Maldonado (CIEMAT)
Dr. Manuel Berenguel (UAL)
Dr. Luis Yebra (CIEMAT)
Dr. Javier Batlles (UAL)
Dra. M^a 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

| | |
|--|----|
| 1. Introducción | 4 |
| 2. Actividades en Organometálica y Fotoquímica | 6 |
| 3. Actividades en Tratamiento de Aguas | 10 |
| 4. Actividades en Modelado y Control Automático | 16 |
| 5. Actividades en Evaluación del Recurso Solar | 21 |
| 6. Actividades en Química Ambiental | 25 |
| 7. Eficiencia Energética en la Edificación | 36 |
| Anexos 1: Master CIESOL en Energía Solar | 41 |
| Anexo 2: Actividades de transferencia tecnológica y divulgación | 43 |
| Anexo 3: Comités y Responsables de Actividades | 45 |

1. Introducción

El 16 de Diciembre de 2005 se inauguró CIESOL. Este informe pretende compendiar las actividades desarrolladas a lo largo de 2010 y complementa a los cuatro informes anteriores (2006-2009) disponibles en las páginas web del centro (<http://www.ciesol.es>, sección documentos). Es necesario destacar que en el quinto año de andadura del centro la consolidación de las actividades científicas del mismo habiéndose desarrollado a lo largo de este ejercicio un total de **11 proyectos de investigación** financiados por fondos públicos y **4 contratos con empresas**. En paralelo, se ha hecho un esfuerzo considerable en la preparación de propuestas de nuevos proyectos, tanto al Plan Andaluz de Investigación y Plan Nacional de Investigación, como al VII Programa marco de la UE habiendo tenido como resultado la aprobación en la convocatoria correspondiente a 2010 de 4 nuevos proyectos en el programa del Plan Nacional de Subprograma de Proyectos de Investigación Fundamental No orientada y tres proyectos de excelencia de carácter autonómico, dos en la modalidad de proyectos de promoción general del conocimiento y uno en la modalidad de proyectos motrices y de innovación con intervención de empresas. Estos 7 nuevos proyectos se iniciarán en 2011. En cuanto a producción científica correspondiente a la anualidad de 2010, 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 también forma de anexo información sobre el máster en energía solar que se imparte en el centro así como un listado de las actividades divulgativas y de transferencia tecnológica desarrolladas en las que el CIESOL ha participado a lo largo 2010 de forma directa, que alcanzan un total de 12 y a las que hay que sumar un elevado número de consultas y contactos individuales en el propio centro por parte de empresas e instituciones.

Como complemento a este apartado de actividades de transferencia, en este caso a la propia Universidad de Almería, se destacan la colaboración del centro con el Vicerrectorado de Infraestructuras, Camus y Sostenibilidad en el proyecto de regeneración mediante energía solar de las aguas residuales de la guardería de la Universidad de Almería y en la gestión y supervisión del proyecto de la instalación fotovoltaica de conexión a red del parking norte del campus.

Debe hacerse mención en esta introducción también a la concesión en la convocatoria del MCINN correspondiente a 2010 de un técnico de apoyo en la modalidad de infraestructuras científico-tecnológicas (especialidad en tecnología química) que permitirá incrementar las capacidades propias del centro en este área.

Por último, reseñar la alta actividad de consultas y accesos a la página Web de CIESOL, con dominio propio (<http://www.ciesol.es/>) la cual está resultando una vía de vía de gran interés de comunicación del centro con la sociedad, y en la que se puede tener acceso, entre otras informaciones, a estos informes anuales.

1. Introduction

CIESOL was inaugurated on December 16th 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 2010 (5th year after start-up) CIESOL has extended its activities to a wide range of projects: 11 research projects and 4 research contracts. Indeed, a great effort has been done in new proposals related with 7th-EU FP and National Programmes. Indeed, 7 new projects have been awarded according to 2010 proposals, and they will begin during 2011. 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. Also with funding from the National Research programmes, CIESOL has been awarded with a new specialised technician in chemistry to work in close collaboration with all the research groups of the centre.

This document also reports about MASTER IN SOLAR ENERGY, being lectured at CIESOL, jointly with different dissemination and knowledge transfer activities during 2010. Other activities related with transfer of knowledge are the installation, start-up and operation of a plant based on technologies developed in CIESOL for treatment of wastewater of the kindergarten of the University of Almeria, and the coordination of the project of the PV field of the parking of the Univ. of Almeria.

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. 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), Christoph Richter (christoph.richter@dlr.de). <http://www.ual.es/GruposInv/FQM-317/>

Fuente de financiación: PROYECTO EXCELENCIA JUNTA DE ANDALUCÍA

Duración prevista: FEBRERO 2008- ENERO 2012.

Situación: En curso.

Antecedentes: Desde hace años se está investigando los agregados supramoleculares debido a sus importantes propiedades (sensores, máquinas moleculares, materiales sensibles a pequeños estímulos físicos y/o químicos, etc). Los agregados supramoleculares se obtienen por ensamblaje o autoagregación de pequeñas moléculas orgánicas o inorgánicas. A pesar de los grandes avances en esta rama de la ciencia hasta hace muy poco tiempo no se conocían polímeros metálicos solubles o compatibles con agua. El primer ejemplo fue presentado por nuestro grupo.

Objetivos: Se pretenden desarrollar nuevos catalizadores compatibles con agua que además sean capaces de mediar 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.

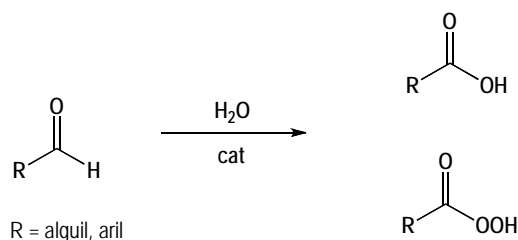


Figura 2.1. Oxidación fotocatalítica de aldehidos terminales.

Resultados durante 2010: Los resultados obtenidos fueron realmente motivadores, destacando: a) se ha continuado estudiando la isomerización de alquenoles 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 2010 se han continuado desarrollando aquellas líneas iniciadas en el 2008.

Abstract. *Aquo-soluble Ru-X 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-X-Ru-Y (X=pseudo-halogens; Y = Au, Ag, Pt). The preliminary*

assessment of the properties of the obtained complexes support that these complexes are promising materials for industrial and biological applications i.e. smart catalysis, drug delivery or chemical sensing.

Publicaciones.

Beatríz González, Pablo Lorenzo-Luis, Manuel Serrano-Ruiz, Éva Papp, Marianna Fekete, Klára Csépké, Katalin Ösz, Ágnes Kathó, Ferenc Joóc, and Antonio Romerosa. Catalysis Of Redox Isomerization of Allylic Alcohols by $[\text{RuCl}(\text{Cp})(\text{mPTA})_2](\text{OSO}_2\text{CF}_3)_2$ and $[\text{RuCp}(\text{mPTA})_2(\text{OH}_2\text{-kO})(\text{OSO}_2\text{CF}_3)_3 \cdot (\text{H}_2\text{O})(\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O})_{0.5}]$ unusual Influence of the Ph and Interaction of Phosphate with Catalyst on the Reaction Rate. *Journal Of Molecular Catalysis A: Chemical*, **2010**, 326,15-20; Editor's Choice paper.

Antonio Manuel Romerosa Nievas. Procedimiento y catalizador para la oxidación selectiva de grupos aldehído. SOLICITADA. **2010**. ENTIDAD TITULAR: Universidad de Almería. PAISES: España. Europeo. **Patente**

Nazira Jadagayeva, Manuel Serrano Ruiz, Antonio Romerosa. Water soluble ruthenium dimers Complexes Containing PTA (1,3,5-triaza-7-phosphaadamantane). 7th Europea Workshop on Phosphorus Chemistry, 25th and 26th March 2010, Budapest, Hungary. P17

Vincenzo Passarelli, Rugiada Girotti, Antonio Romerosa, Manuel Serrano-Ruiz. Photo-Oxidation of Aldehyde to Carboxylic Acids. 9º Congresso del Gruppo Interdivisionale di Chimica Organometallica della Società Chimica Italiana (Co.G.I.C.O. 9), Firenze (Florenca), 8 – 11 Junio 2010. OC24. ISBN: 9-788887-057539. COMUNICACIÓN ORAL.

Antonio Romerosa, Manuel Serrano-Ruiz, Benjamín Sierra-Martín, Antonio Fernandez-Barbero. Non-linear organometallic microgels soluble in water. MACRO2010, 43rd IUPAC World Polymer Congress Polymer Science in the Service of Society, 11-17 July 2010, Glasgow, U.K. A2_P10.

2.2. SISTEMAS POLIMETALICOS POLIMERICOS DERIVADOS DE FOSFINAS SOLUBLES EN AGUA: COMPORTAMIENTO QUIMICO Y PROPIEDADES FISICAS.

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

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

Fuente de financiación: MICINN

Duración prevista: Enero 2010- Diciembre 2010.

Situación: Terminado.

Antecedentes: Los agregados supramoleculares se obtienen por ensamblaje o autoagregación de pequeñas moléculas orgánicas o inorgánicas. Nuestro grupo ha sido el primero en sintetizar polímeros-heteropolinucleares compatibles con agua, que tienen además interesantes propiedades entre las que se encuentran su actividad frente a la luz solar.

Objetivos: En este proyecto se pretende el desarrollo generalizado de nuevos polímeros heteropolimetálicos solubles en agua con el ligando dmoPTA.

Resultados durante 2010: Se obtuvieron compuestos diméricos con dicho ligando con propiedades interesantes, ya que la doble coordinación del ligando tiene como consecuencia la

mutua interacción entre los centros metálicos, pero de una forma sutil, y por lo tanto es posible controlar las propiedades de uno de los metales escogiendo adecuadamente el otro y el resto de sus ligandos.

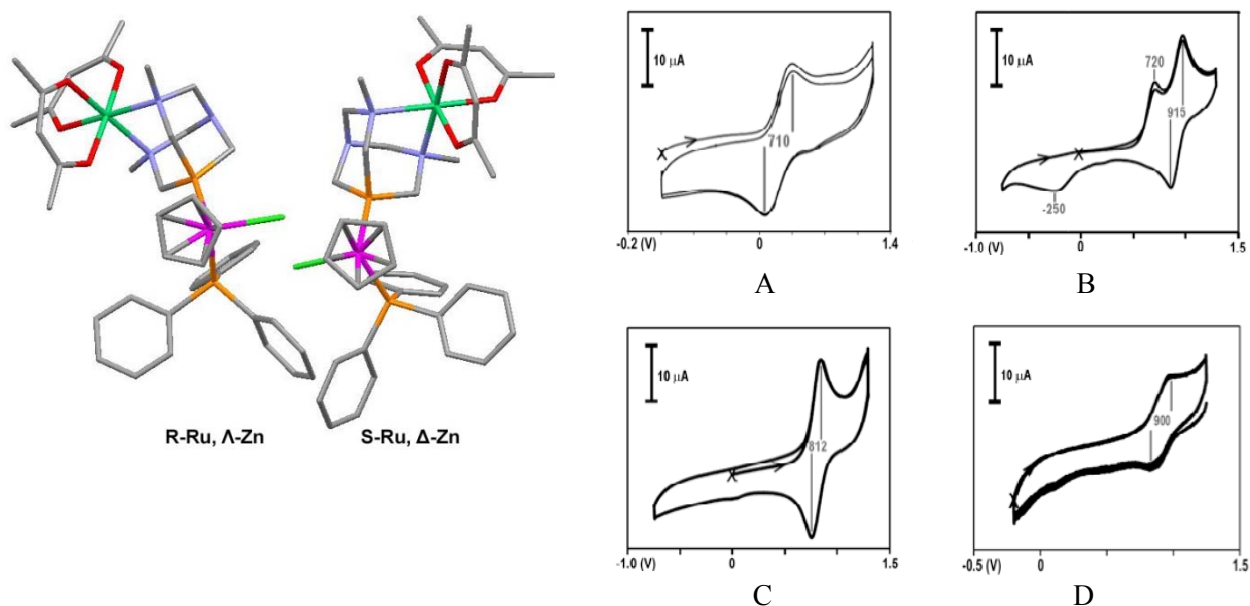


Figura 2.2. Estructura cristalina de los dímeros Ru-Zn y comparación de la voltametría cíclica del monómero de Ru (A) y los dímeros Ru-Co (B), Ru-Ni (C), Ru-Zn (D).

Abstract. *The synthesis and characterization of new hetero-polymer including the ligand dmoPTA was the main objective of this project. The results obtained in 2010 shown as this kind of complexes display tuned properties depending of the combination with metals and ligands. The research team has focused their main interest in knowing more about the mechanism of the photochemical process as previous step to optimized the photocatalytic process.*

Publicaciones.

A Adrián Mena-Cruz, Pablo Lorenzo-Luis, Vincenzo Passarelli, Antonio Romerosa, Manuel Serrano-Ruiz. Comparative Study of $[\text{RuClCp}(\text{HdmoPTA-kP})(\text{PPh}_3)](\text{OSO}_2\text{CF}_3)$ and the Heterobimetallic Complexes $[\text{RuCp}(\text{PPh}_3)-\mu\text{-dmoPTA-1kP:2k2N,N'-M}(\text{ACAC-k2O,O'})_2]$ (M = Co, Ni, Zn; dmoPTA = 3,7-dimethyl-1,3,7-triaza-5-phosphabicyclo[3.3.1]nonane). *Dalton trans.* **In press.**

Ru-M Bimetallic Derivatives (M = Co, Ni, Zn) Based in the Heteroditopic P,N₂-Ligand 3,7-dimethyl-1,3,7-triaza-5-Phosphabicyclo3.3.1nonane (dmoPTA). A. Romerosa, A. Mena Cruz, P. Lorenzo Luis, V. Passarelli, M. Serrano Ruiz. 7th European Workshop on Phosphorus Chemistry, 25th and 26th March 2010, Budapest, Hungary. P33

2.3. ADITIVACIÓN DE PIEDRA NATURAL MEDIANTE COMPLEJOS ACUOSOLUBLES DE RUTENIO: EFECTO DE LA RADIACIÓN VISIBLE Y AGENTES ATMOSFÉRICOS EXTERNOS.

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

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

Fuente de financiación: PROYECTO EXCELENCIA JUNTA DE ANDALUCÍA

Duración prevista: Febrero 2010- Febrero 2013.

Situación: En curso.

Antecedentes: A pesar del mucho esfuerzo hecho y las muchas líneas de investigación seguidas, en la actualidad el número de procesos fotoquímicos solares son realmente muy pocos y son aún menos numerosos los procesos sintéticos foto-catalíticos solares. No obstante se sigue investigando en fotoquímica y cada nuevo resultado es de extrema importancia. Por ejemplo la luz solar induce el intercambio de electrones entre átomos de Ru en sistemas complejos (Ang. Chem. 2008,47,503-506), produce los fenómenos como la fenton-isomerización de complejos de rutenio (Ang. Chem. 2008,47,1-5; J.A.C.S. 2008,130,1556-1557), existen fotosensibilizadores de Zn y Ru para fotocélulas (Ang. Chem. 2007,46, 8358-8362; Ang. Chem. 2006,45,5822-5825), así como se investiga intensamente en la producción de hidrógeno foto-catalíticamente a través del uso de complejos de Ru (J.A.C.S. 2007,129,10644-10645; Chem. Rev. 2007, 107, 4022-4047). La mayor parte de los resultados obtenidos son muy importantes e interesantes, como lo refleja la calidad de las revistas en donde han sido publicados. No obstante, hasta donde nosotros conocemos, no existe ningún proceso foto-catalítico solar en agua a temperatura ambiente que permita aditivar piedra natural a pesar que a través del mismo se podría controlar procesos químicos como el curado de una resina epoxy, que es muy importante para la industria del sector de la piedra natural.

Objetivos: El objetivo del presente proyecto es estudiar el uso como aditivos de la piedra natural de los complejos acuosolubles de rutenio y amino-fosfinas solubles en agua y que además presenten posibles propiedades fotoquímicas. Además se pretende el estudio del efecto que produciría dichos complejos sobre los aditivos que actualmente se usan para la piedra natural, como por ejemplo las resinas epoxy. Por otra parte, se pretende alcanzar tanto conocimiento como sea posible de los procesos que se estudien con objeto de sintetizar complejos metálicos acuosolubles de forma que se pueda mejorar las propiedades de la piedra natural.

Abstract. *The new water soluble, air stable hetero-bimetallic-polymeric structure based on two metal-containing moieties Ru-X-Ru-Y (X=pseudo-halogens; Y = Au, Ag, Pt) are photosensible giving rise to new metal system. Doping natural stone with this kind of complexes some new and interesting materials are obtained.*

Publicaciones.

L. Sánchez, A. Romerosa, M. Serrano, I. Martínez.. Characterization and Distinction of Macael White Marble. Global Stone Congress 2010. 2-5 march **2010**. Alicante (Spain). COMUNICACIÓN ORAL.

M. Serrano, I. Martínez, J. M. González, A. Romerosa. Evaluation of Mortars by UV-Vis-NIR Diffuse Reflectance. Global Stone Congress 2010. 2-5 march **2010**. Alicante (Spain). COMUNICACIÓN ORAL.

I. Martínez Soler, L. Sánchez Bajo, A. Romerosa Nievas, M. Serrano. Laboratorio de I+D+i de Resinas y aditivos de la piedra natural (LIDIR). Global Stone Congress 2010. 2-5 march **2010**. Alicante (Spain). Poster.

3. Actividades en Tratamiento de Aguas

3.1. 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); M. I. Maldonado, (mignacio.maldonado@psa.es)

Fuente de financiación: Junta de Andalucía, Proyecto de Excelencia.

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 del Centro de Investigación en Energía Solar (CIESOL), Centro Mixto (CIEMAT-UAL).

Objetivos:

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

5. Difusión de los resultados y fomento de la cultura científica.

Resultados durante 2010. Se ha continuado trabajando sobre la integración de la tecnología de membranas para tratamiento biológico (MBR) y la oxidación avanzada mediante foto-Fenton de tóxicos persistentes (plaguicidas). Se ha investigado el efecto de los contaminantes foto-tratados en la operación del MBR mediante el estudio de los cambios con el tiempo de la población del fango activado en el sistema biológico. El pre-tratamiento con foto-Fenton fue del 34% de mineralización del COD, alcanzándose finalmente un 98% de eliminación del carbono a la salida del reactor biológico. Durante la operación del MBR mediante el análisis de la DGGE, no se encontraron cambios significativos en la población del fango manteniéndose un elevado nivel de biodegradación frente a cambios sustanciales en la composición de la corriente de alimentación. Por otro lado, se ha propuesto el uso del proceso foto-Fenton para degradar paracetamol para formar productos intermedios biodegradables que podrán posteriormente eliminarse con un tratamiento biológico. Considerando las velocidades de degradación del paracetamol y de mineralización del carbono, se seleccionó una concentración de 20 mg L⁻¹ de Fe²⁺ y 200 mg L⁻¹ de H₂O₂ en experimentos de laboratorio. Como resultado del escalado a planta piloto, en 25 minutos de tratamiento foto-Fenton se degradó una concentración 1 mM de paracetamol hasta lograr la biodegradabilidad deseada. La evaluación económica muestra además cómo la estrategia de tratamiento propuesta aumenta notablemente la eficiencia, resultando en una reducción del 83,33% en el coste de reactivos y una reducción del 79,11% en los costes asociados con el tiempo de reacción. El coste total se redujo de 3,4502 € / m³ a 0.7392 € / m³ considerando un reactor de 100 m² de captador solar. En la figura 3.1 se detalla el efecto de la concentración de reactivo.

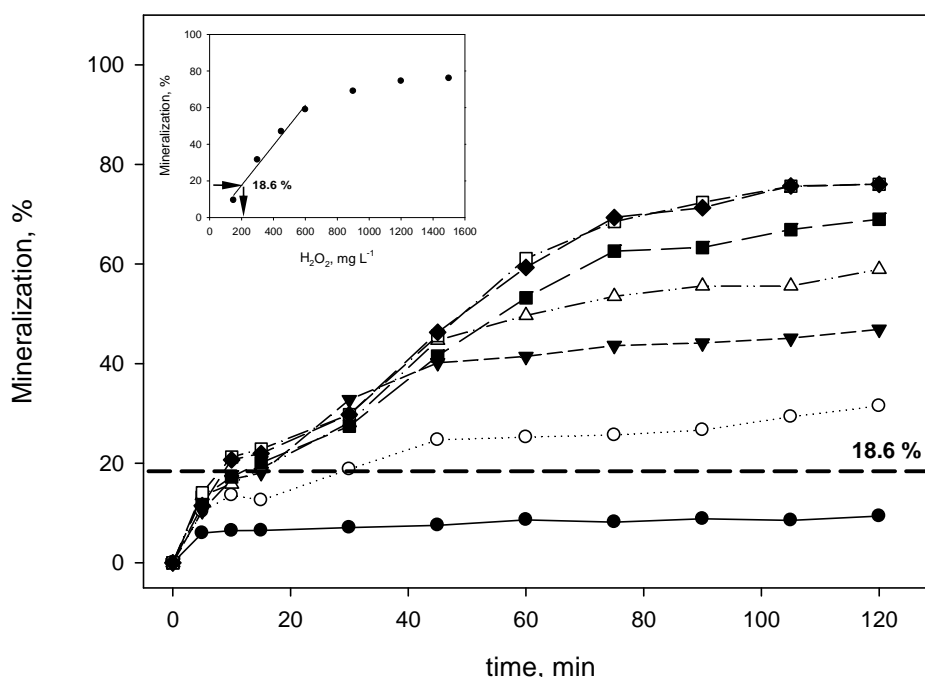


Figura 3.1. Mineralización del Paracetamol mediante foto-Fenton (COD inicial de 100 mg L⁻¹) para seis concentraciones de H₂O₂ [150 mg L⁻¹ (—●—), 300 mg L⁻¹ (—○—), 450 mg L⁻¹ (—▼—), 600 mg L⁻¹ (—△—), 900 mg L⁻¹ (—■—), 1200 mg L⁻¹ (—□—) y 1500 mg L⁻¹ (—◆—)]. I=32 W m⁻², Fe²⁺= 20 mg L⁻¹. Inset: Mineralización en función de la concentración de H₂O₂.

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.

Work has continued on the integration of membrane technology for biological treatment (MBR) and advanced oxidation by photo-Fenton of persistent toxic substances (pesticides). The effect of photo-treated pollutants on MBR operation was investigated by studying the population changes that occurred with time in the activated sludge of the biological system. Pre-treatment with photo-Fenton was carried out (only up to 34% of mineralization of DOC) and, after MBR treatment, 98% of biodegradation efficiency was obtained. During the biological treatment, no changes in activated sludge population were detected by DGGE analysis, maintaining acceptable biodegradation efficiency which points out the robustness of the MBR treatment versus changes in feed composition. The use of the solar photo-Fenton process is proposed to degrade Paracetamol in water in order to form biodegradable reaction intermediates which can be finally removed with a downstream biological treatment. 20 mg L⁻¹ of Fe²⁺ and 200 mg L⁻¹ of H₂O₂ were selected in a lab-scale study looking at Paracetamol's degradation rate and organic carbon mineralization rate. As a result of scaling up the process at a pilot plant, 157.5 mg L⁻¹ of Paracetamol (~1 mM) was treated in 25 min of photo-Fenton treatment achieving the desired biodegradability. A further economic evaluation shows how the proposed treatment strategy markedly increases plant efficiency, resulting in an 83.33% reduction in reagent cost and a 79.11% reduction in costs associated with reaction time. Total cost is reduced from 3.4502 €/m³ to 0.7392 €/m³.

Publicaciones

M.M. Ballesteros Martín, J.L. Casas López, I. Oller, S. Malato, J.A. Sánchez Pérez. A comparative study of different tests for biodegradability enhancement determination during AOP treatment of recalcitrant toxic aqueous solutions. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 73, 1189–1195, **2010**.

J. L. Casas López, A. Cabrera Reina, E. Ortega Gómez, M. M. Ballesteros Martín, S. Malato Rodríguez, J. A. Sánchez Pérez. Integration of Solar Photocatalysis and Membrane Bioreactor for Pesticides Degradation. *Separation Science and Technology*, 45, 1571–1578, **2010**.

M. M. Ballesteros Martín, L. Garrido, J. L. Casas López, O. Sánchez, J. Mas, M. I. Maldonado, J. A. Sánchez Pérez. An analysis of the bacterial community in a membrane bioreactor fed with photo-Fenton pre-treated toxic water. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology* (**2010**) DOI: 10.1007/s10295-010-0892-5

L. Santos-Juanes Jordá, M. M. Ballesteros Martín, E. Ortega Gómez, A. Cabrera Reina, I. M. Román Sánchez, J. L. Casas López, J. A. Sánchez Pérez. Economic evaluation of the photo-

Fenton process. Mineralization level and reaction time: the keys for increasing plant efficiency. *Journal of Hazardous Materials*. (2010) DOI: 10.1016/j.jhazmat.2010.12.100

M. M. Ballesteros Martín; I. Garrido; E. Ortega Gómez; A. Cabrera Reina; M. I. Maldonado Rubio. A reliable process for pesticide degradation: photo-fenton and membrane bioreactor combination. VII ANQUE international congress. integral water cycle: present and future. Oviedo, España. 13-16 de junio de 2010.

M. M. Ballesteros Martín; J. L. Casas Lopez, I. Oller, S. Malato, J. A. Sanchez Perez. *Pseudomonas putida* as a new test for monitoring biodegradability enhancement during AOP treatment of recalcitrant toxic aqueous solutions. VII ANQUE international congress. integral water cycle: present and future. Oviedo, España. 13-16 de junio de 2010.

J. A. Sanchez Perez, J. L. Casas Lopez, M. I. Maldonado. Ingeniería de bioprocesos y tecnologías del agua. Mesa española de tratamiento de aguas. META 2010. Tecnología del agua y sostenibilidad. Bilbao, España. 9-11 diciembre de 2010.

3.2. 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), J. Blanco (julian.blanco@psa.es)

Fuente de financiación: CIEMAT

Duración prevista: Octubre, 2007 - Septiembre, 2010. Prorrogado hasta Septiembre de 2011.

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 2010: Declarados confidenciales

3.3. 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); M. I. Maldonado (mignacio.maldonado@psa.es)

Fuente de financiación: BEFESA Gestión de Residuos Industriales

Duración prevista: Octubre 2009 – octubre 2010.

Situación: terminado.

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 2010: Declarados confidenciales

3.4. ACUERDO DE COLABORACIÓN ENTRE LA UNIVERSIDAD DE ALMERÍA, A TRAVÉS DEL VICERRECTORADO DE “INFRAESTRUCTURAS, CAMPUS Y SOSTENIBILIDAD” Y EL GRUPO DE INVESTIGACIÓN “INGENIERÍA DE BIOPROCESOS Y TECNOLOGÍAS DEL AGUA” SOBRE REGENERACIÓN MEDIANTE ENERGÍA SOLAR DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA GUARDERÍA DE LA UNIVERSIDAD DE ALMERÍA.

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); M. I. Maldonado (mignacio.maldonado@psa.es)

Duración prevista: julio 2010 – julio 2015.

Situación: en curso.

Antecedentes: El Vicerrectorado de Infraestructuras, Campus y Sostenibilidad, cuenta entre sus competencias la planificación, gestión y coordinación de las infraestructuras y los equipamientos pertenecientes a la Universidad de Almería, así como la adecuación del espacio universitario a criterios de sostenibilidad medioambiental. El diseño de la planta de regeneración del agua residual estará basado en los estudios previos realizados en las instalaciones del CIESOL por el grupo de investigación y tendrá el carácter de planta experimental para el desarrollo de nuevos proyectos y evaluación de los sistemas instalados.

Objetivos: Regenerar las aguas residuales que se producen en la guardería de la Universidad de Almería. Para ello, se pretende instalar una planta para depurar el agua residual mediante

sistemas biológicos avanzados y a continuación desinfectar el agua tratada mediante métodos fotocatalíticos con energía solar.

Resultados durante 2010: Se ha acondicionado el solar y adquirido un MBR de 1 m³ al día de capacidad de tratamiento para su instalación durante 2011.

Abstract. *The aim of this agreement is to treat the wastewater produced in the nursery of the University of Almería. To do this, a pilot plant to treat wastewater using advanced biological systems and then disinfect the treated water using solar photocatalytic methods will be installed.*

3.5. OTROS

En 2010 se ha conseguido financiación en la Convocatoria de Plan Nacional para el proyecto “Desarrollo de nuevas estrategias basadas en fotocatalisis solar para la regeneración de aguas depuradas (FOTOREG)” coordinado entre los departamentos de Ingeniería Química de la UAL, Química Analítica de la UAL y la Unidad de Aplicaciones Medioambientales de la Energía Solar de la PSA, siendo los IP José Antonio Sánchez Pérez (Coordinador), Manuel Ignacio Maldonado Rubio, Ana M^a Agüera López todos ellos pertenecientes a CIESOL.

Asimismo, en la Convocatoria 2010 de proyectos de excelencia de la Junta de Andalucía, se ha financiación para el proyecto “Combinación de tecnologías intensivas para la mejora de la calidad de los efluentes acuosos en PYMES. Diseño de un proceso integrado (AQUAPYME)” cuyo IP es el profesor José Luis Casas López del departamento de Ingeniería Química de la UAL.

Abstract. *Two new research projects have been funded during 2010. Three groups take part of the project funded by the Spanish Government and entitled “Development of new treatment schemes based on solar photocatalysis for wastewater reclamation (FOTOREG)”, the heads being José Antonio Sánchez Pérez (Coordinator), from the Chemical Engineering Department, Ana M^a Agüera López from the Analytical Chemistry Department and Manuel Ignacio Maldonado Rubio from PSA, all of them being members of CIESOL. The other project has been funded by the Regional Government “Junta de Andalucía” and is led by José Luis Casas López from the Chemical Engineering Department and member of CIESOL. The title of the project is “Combination of intensive technologies to improve the quality of wastewaters in SMEs. Design of an integrated process (AQUAPYME)”.*

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); L. Yebra, luis.yebra@psa.es.

Fuente de financiación: MICINN

Duración prevista: Octubre 2007 – Agosto 2010

Situación: Finalizado

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 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 2010: Se han publicado/aceptado 8 artículos en revistas y 5 en congresos.

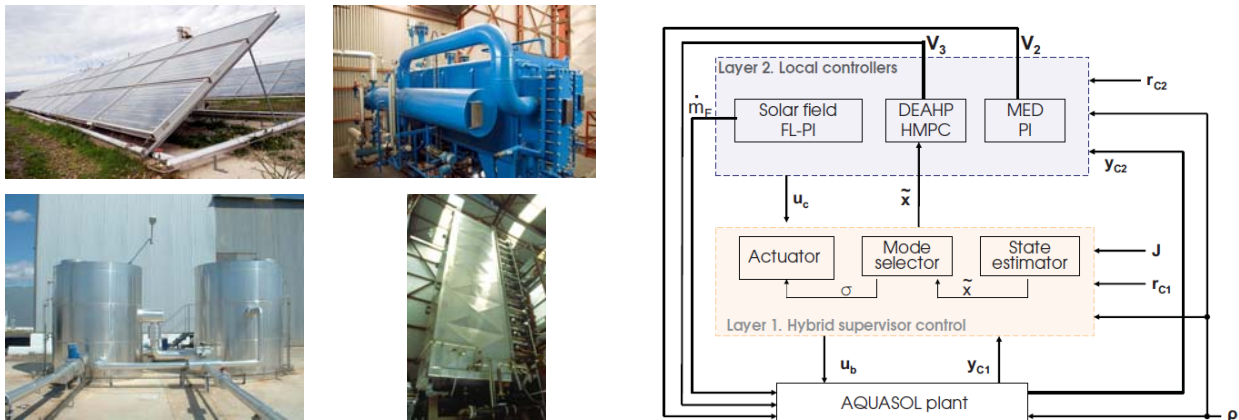


Figura 4.1. Modelo híbrido de una planta desaladora solar

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 2010, the main results have been 8 journal papers and 5 conference papers.

Publicaciones.

Álvarez, J.D. R. Costa-Castelló, M. Berenguel, L.J. Yebra. A repetitive control scheme for distributed solar collector field. *International Journal of Control* 83(5), 970-982, **2010**.

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 J. of Control*, 16(2), **2010**.

Moreno, J.C., A. Baños, M. Berenguel. A QFT framework for anti-windup control systems design. *Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control*, 132(2), **2010**.

Torrico, B.C., L. Roca, J. Normey-Rico, J.L. Guzmán, L. Yebra. Robust nonlinear predictive control applied to a solar collector field in a solar desalination plant. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 18(6), 1430 - 1439, **2010**.

Yebra, L.J., M. Berenguel, J. Bonilla, L. Roca, S. Dormido. E. Zarza. Object oriented modeling and simulation of Acurex solar thermal power plant. *Mathematical and Computer Modelling of Dynamical Systems*, 16, 211-224, **2010**.

Guzmán, J.L., M. Domínguez, M. Berenguel, J.J. Fuentes, F. Rodríguez, P. Reguera. Entornos de experimentación para la enseñanza de conceptos básicos de modelado y control. *RIAI – Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, 7, 10-22, **2010**.

Guzmán, J.L., S. Dormido, M. Berenguel. Interactivity in Education: an experience in the Automatic Control Field. *Computer Appl. in Engineering Education*, DOI: **10.1002/cae.20480**.

Nachidi, M., F. Rodríguez, F. Tadeo, J.L. Guzmán. Takagi-Sugeno control of nocturnal temperature in greenhouses using air heating. *ISA Trans.*, [doi:10.1016/j.isatra.2010.11.007](https://doi.org/10.1016/j.isatra.2010.11.007).

Roca, L., J.L. Guzmán, J.E. Normey-Rico, M. Berenguel, L. Yebra. Filtered Smith predictor with feedback linearization and constraints handling applied to a solar collector field. IFAC Conf. on Control Method. and Technol. for Energy Efficiency, Vilamoura, Portugal, **2010**.

Cirre, C.M., J.C. Moreno, M. Berenguel, J.L. Guzmán. Robust control of solar plants with distributed collectors. IFAC International Symposium on Dynamics and Control of Process Systems – DYCOPS 2010, Leuven, Belgium, **2010**.

Fernández, I., J. Peña, J.L. Guzmán, M. Berenguel, F.G. Acién. Modelling and control issues of pH in tubular photobioreactors. 11th IFAC Symposium on Computer Applications in Biotechnology - CAB2010, Leuven, Belgium, **2010**.

Pawlowski, A., J.L. Guzmán, F. Rodríguez, M. Berenguel. Application of time-series methods to disturbance estimation in predictive control problems. ISIE 2010. IEEE International Symposium on Industrial Electronics, Bari, Italy, **2010**.

Ferre, J.A., A. Pawlowski, J.L. Guzmán, F. Rodríguez, M. Berenguel. A wireless sensor network for greenhouse climate monitoring. Proc. 5th Int. Conf. on Broadband and Biomedical Communications. Málaga, Spain, **2010**.

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).

Fuente de financiación: GEMASOLAR S.A.

Duración prevista: Mayo 2008 – Diciembre 2010.

Situación: Concluido.

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 Estudio de viabilidad de algoritmos de caracterización de helióstatos.

Resultados durante 2010: Declarados confidenciales

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

Participantes: Ver actividad 7 “Eficiencia Energética en la Edificación”.

Contactos: Ver actividad 7 “Eficiencia Energética en la Edificación”. Grupo de modelado y control automático: M. Berenguel (beren@ual.es)

Fuente de financiación: 50% MEC y las CCAA

Duración prevista: Mayo 2005 – Diciembre 2011

Situación: En curso.

Antecedentes: Ver actividad 7 “Eficiencia Energética en la Edificación”.

Objetivos. 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 2010. Implantación final 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 2010 have been related to the monitoring and hierarchical control, mainly in aspects related to the solar cooling system and control confort inside the building. The main results during 2010 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.*

Publicaciones.

Castilla, M.M., J.D. Álvarez, M. Berenguel, M. Pérez, F. Rodríguez, J.L. Guzmán. Técnicas de control de confort en edificios. *RIAI-Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, 7, 5-24, **2010**.

Castilla, M.M., J.D. Álvarez, M. Berenguel, M. Pérez, J.L. Guzmán, F. Rodríguez. Comfort optimization in a solar energy research center. IFAC Conference on Control Methodologies and Technology for Energy Efficiency, Vilamoura, Portugal, **2010**.

Castilla, M., Álvarez J.D., Berenguel M., Pérez M., Guzmán J.L., Rodríguez F., Ferre, J.A., y Pasamontes M. Análisis de parámetros de confort térmico en el CDdI CIESOL del proyecto ARFRISOL. I Congreso sobre Arquitectura Bioclimática y Frío Solar. Almería, **2010**.

Castillo L., Pasamontes M., Ferre J.A., Rodríguez F., Berenguel M. y Pérez M. Desarrollo de un sistema de análisis dinámico de cargas por ocupación en espacios del CDdI CIESOL del proyecto ARFRISOL. I Congreso sobre Arquitectura Bioclimática y Frío Solar. Almería, **2010**.

Ferre, J.A., M. Pasamontes, L. Castillo, M.M. Castilla, M. Pérez, M. Berenguel, M.J. Jiménez. Desarrollo de un sistema de monitorización y control para edificios bioclimáticos en el marco del proyecto ARFRISOL. I Congreso sobre Arquitectura Bioclimática y Frío Solar. Almería, **2010**.

Pasamontes, M., J.D. Álvarez, J.L. Guzmán, M. Berenguel. Bumpless switching in control. 2010 IEEE Int. Conf. on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA'2010), Bilbao, Spain, **2010**.

4.4 SIMULACIÓN DE PLANTAS TERMOSOLARES DE CAPTADORES CILINDRO PARABÓLICOS PARA GENERACIÓN DE CALOR DE PROCESO

Participantes: Grupo de Inv. “Automática, Electrónica y Robótica” (CIESOL, Univ. de Almería) y Unidad de Concentración Solar de la Plataforma Solar de Almería

Contactos: M. Pérez (mperez@ual.es) y L. Valenzuela (loreto.valenzuela@psa.es).

Fuente de financiación: Fundação para a Ciência e a Tecnologia (Portugal)

Duración prevista: Enero 2010 – Diciembre 2012.

Situación: En desarrollo.

Antecedentes: Este proyecto deriva de la experiencia obtenida en el proyecto CAPSOL. Captador solar cilindroparabólico para aplicaciones térmicas hasta 250°C del Plan Nacional de Investigación. Programa de Investigación Aplicada Colaborativa (CIT-440000-2008-5) coordinado por el CIEMAT con la participación de la Universidad de Almería y Composites y Sol S.L A partir del mismo se ha considerado relevante crear una línea de trabajo específica en el centro CIESOL relacionada con el modelado y control de instalaciones solares en aplicaciones térmicas, con especial énfasis en las de uso industrial o de alta demanda alimentadas por captadores cilindroparabólicos. Se cuenta inicialmente con una financiación de la Fundación para la Ciencia y Tecnología de Portugal en base a un acuerdo de movilidad de investigadores.

Objetivos: El objetivo de este proyecto es el desarrollo de un conjunto de herramientas de simulación dinámica de plantas solares con colectores cilindroparabólicos para aplicaciones en demanda térmicas de rango intermedio (<200 ° C) o altas cargas energéticas. Tras este desarrollo, se abordará la optimización técnico-económica de diversas configuraciones tipo para aplicaciones en la industria (alimentaria, textil, química) y la refrigeración solar en sistemas de absorción por doble efecto. El proyecto se desarrollará en las siguientes etapas: i) Desarrollo de un modelo matemático de la planta solar y sus elementos y ii) La aplicación del modelo en un entorno integrado de simulación iii) La validación y calibración del modelo con datos experimentales obtenidos en la Plataforma Solar de Almería (PSA) iv) La optimización técnico-económica de unidades modulares de captadores cilindroparabólicos para aplicaciones específicas.

Resultados durante 2010. Desarrollo de un modelo físico detallado de captadores cilindroparabólicos de rango intermedio con y sin cubierta transparente. Análisis de viabilidad de sistemas solares térmicos en cascada para aplicaciones en media temperatura en lazo abierto.

Abstract. *The objective of this project is the development of a set of dynamic simulation tools for concentrating solar plants with parabolic- trough collectors (PTC) for medium-temperature applications up to 200°C. The main challenge in this project lies in the global optimization of the solar plant technical-economical performance for diverse thermal applications. The possibilities for applications are industry (food, textile, chemical) and solar cooling by two stage absorptio cycles. The project consists in the following stages: i) Development of a mathematical model of the solar plant and thermal application ii) Implementation of the model in an integrated simulation environment iii) Validation and calibration of the model with experimental data obtained in Plataforma Solar de Almeria (PSA) iv) Technical-economical global optimization of a modular unit of parabolic -trough collectors.*

Publicaciones:

Fernández-García A., E. Zarza, L. Valenzuela, M. Pérez. Parabolic-trough solar collectors and their applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(7), 1695-1721. **2010.**

da Silva R.M. y J.L.M. Fernandes. Hybrid photovoltaic/thermal (PV/T) solar systems simulation with Simulink/Matlab. *Solar Energy* 84(12): 1985-1996. **2010.**

Fernández-García A., E. Zarza, M. Pérez, L. Valenzuela, E. Rojas y E. Varcacel. Experimental Assessment of an Small-Sized Parabolic-Trough Collector. Eurosun 2010 International Conference On Solar Heating, Cooling And Buildings Graz (Austria) Septiembre **2010**

El Kalkha H.; A, Mimet; M. Pérez, F. Lemmini. Etude d'une Machine Frigorifique Solaire a Adsorption d'Ammoniac sur Charbon Actif en Fonction de l'Irradiation Solaire de Tetouan 1er Congres de l'Association Marocaine de Thermique Setatt (Marruecos) Mayo, **2010.**

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).

Fuente de financiación: MICINN

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

Situación: Concluido.

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 ha consistido en predecir la radiación solar que va a incidir en una determinada localidad y en un determinado momento. Para ello se ha empleado una metodología basada en Redes Neuronales Artificiales, una derivación de la Inteligencia Artificial, que utiliza como principales variables de entrada datos meteorológicos e información de la cubierta nubosa. Las medidas de la cubierta nubosa se realizaron mediante una cámara de nubes, que fotografiaba cada 10 minutos la bóveda celeste. Dichos registros se completaron 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, ha permitido predecir con bastante exactitud los niveles de radiación en intervalos de tiempo relativamente cortos (típicamente de varias horas).

Resultados durante 2010: Durante este año se han realizado las siguientes tareas:

- a. 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 llevado a cabo un análisis detallado de los resultados obtenidos mediante el uso conjunto de técnicas de teledetección, Redes Neuronales Artificiales (RNA) y Modelos

digitales del terreno (MDT), cuya conclusión principal apunta a las RNA como un método apropiado para la estimación de la radiación solar en todo tipo de topografías. Los principales hallazgos de este estudio se recogen en la tesis doctoral “Evaluación de los recursos energético solares en zonas de topografía compleja mediante imágenes de satélite y Redes Neuronales Artificiales”, defendida en junio de 2010 por Da. Mercedes Martínez Durbán y dirigida por D. Francisco Javier Batlles Garrido, Investigador Principal de este proyecto. También se ha procedido a la generación de mapas topográficos para áreas extensas, tanto de la radiación global, como de la componente de radiación fotosintéticamente activa. En concreto, se ha generado una evaluación del recurso solar para la provincia de Almería utilizando técnicas basadas en RNA y cuyos principales resultados se recogen en la tesis doctoral “Modelización del recurso solar utilizando Redes Neuronales Artificiales y su aplicación a la generación de mapas topográficos de Radiación”, defendida en julio de 2010 por D. Juan Luis Bosch Saldaña y dirigida por D. Francisco Javier Batlles Garrido y D. Gabriel López Rodríguez.

- b. Generación de mapas topográficos de radiación solar mediante teledetección y MDTs. Se ha desarrollado una nueva metodología (como evolución a la desarrollada durante 2009) para estimar la radiación global diaria utilizando imágenes del satélite METEOSAT y Modelos Digitales del Terreno. Dicha metodología también 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, e incorpora el efecto del horizonte sobre la componente difusa de la radiación, contemplando su carácter anisotrópico. Para tal fin se ha empleado un nuevo algoritmo de cálculo del horizonte. Los resultados ponen de manifiesto que esta metodología también reduce en promedio 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 el artículo “Solar resources estimation combining digital terrain models and satellite images techniques” (Bosch et al., 2010) y en la tesis doctoral ya mencionada “Modelización del recurso solar utilizando Redes Neuronales Artificiales y su aplicación a la generación de mapas topográficos de Radiación” (Bosch, 2010).
- c. 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 del 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. En el periodo considerado, se ha desarrollado una metodología de análisis de la cubierta nubosa, con la finalidad de llevar a cabo una caracterización de la zona de estudio. Esta tipo de estudios permitirán una adecuada ubicación de la plantas solares, así como servirán de ayuda en las tareas de operación y mantenimiento de dichos sistemas. Los principales resultados de este estudio se reflejan en la publicación “Cloud classification in Almería, Spain using radiation data and sky images” (Martínez-Chico et al., En revisión) y en el trabajo presentado “Clasificación de las nubes a partir de datos de radiación e imágenes de una cámara de cielo” (Martínez-Chico & Batlles, 2010). Otra de las técnicas utilizadas para el estudio de la cubierta nubosa ha sido la teledetección, mediante el uso de imágenes multiespectrales del satélite Meteosat 9 (MSG, Meteosat Segunda Generación), cuyos resultados se muestran en el trabajo “Detección de nubes mediante imágenes del satélite MSG” (Escrig et al. 2010).

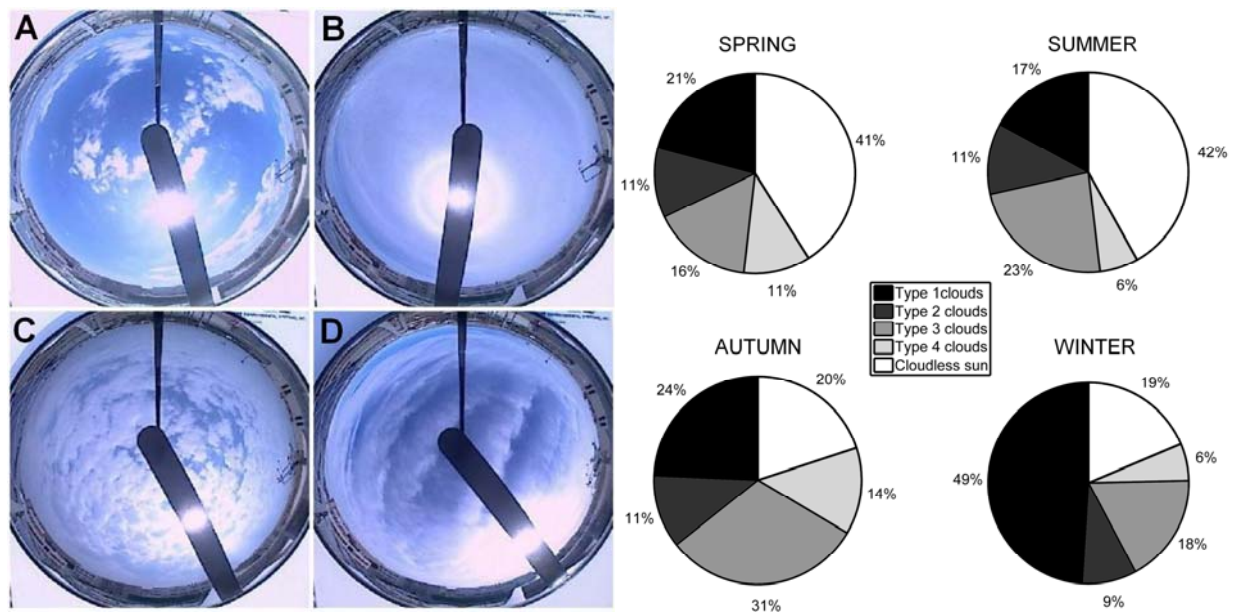


Figura 5.1. Ejemplo de clasificación de nubes y análisis estacional de la cubierta nubosa de Almería

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.

Martínez Durbán, Mercedes. “Evaluación de los recursos energético solares en zonas de topografía compleja mediante imágenes de satélite y Redes Neuronales Artificiales”. Tesis Doctoral. Universidad de Almería **2010**.

Bosch Saldaña, Juan Luis. “Modelización del recurso solar utilizando Redes Neuronales Artificiales y su aplicación a la generación de mapas topográficos de Radiación”. Tesis Doctoral. Universidad de Almería **2010**.

Bosch, J.L., Batlles, F.J., Zarzalejo, L.F., López, G. Solar resources estimation combining digital terrain models and satellite images techniques. *Renewable Energy*, 35 (12), 2853-2861. **2010**.

Martínez-Chico, M.; Batlles, F.J. Clasificación de las nubes a partir de datos de radiación e imágenes de una cámara de cielo. “Meteorología y Energías Renovables”. XXXI Jornadas Científicas de la Asociación Meteorológica Española. Sevilla, **2010**.

Escrig. H.; Batlles, F.J.; Bosch, J.L. Detección de nubes mediante imágenes del satélite MSG. “Meteorología y Energías Renovables”. XXXI Jornadas Científicas de la Asociación Meteorológica Española. Sevilla, **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: Francisco Javier Batlles (fbatlles@ual.es).

Fuente de financiación: GEMASOLAR 2006, S.L.

Duración prevista: Septiembre 2009 a 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 2010: 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: Sixto Malato (sixto.malato@psa.es); Ana Agüera (aaguera@ual.es)

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

Duración prevista: 1 Noviembre 2006 a 31 Marzo 2010

Situación: Finalizado

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 2010: El sistema industrial que combina foto-Fenton y tratamiento biológico para tratamiento de aguas conteniendo plaguicidas se ha ensayado en la empresa Albaida (grupo CESP) durante una operación de varios meses, con un resultado exitoso. La composición del agua industrial residual y su tratamiento se han podido evaluar gracias a utilizar un método cromatográfico de LC-MS-TOF desarrollado por la Univ. de Almería y que permite analizar hasta 300 plaguicidas en 20 minutos. Además de esto, se ha estudiado el efecto de la composición de la matriz de agua (es decir, el contenido en sales inorgánicas) en la eficiencia de la velocidad de reacción y también la posible formación de intermedios halogenados durante el tratamiento de foto-Fenton solar cuando en el agua hay una elevada concentración de cloruro. Esto es muy habitual en aguas residuales de origen industrial como vertidos de la industria farmacéutica o en lixiviados de vertedero.

Considerando el modo de operación de la planta de lavado de envases, es posible fijar de manera aproximada el COD del agua residual controlando la relación entre la cantidad de envases lavados y el volumen de agua empleada en esta tarea. En el caso de COD₀ 480 mg/L y DQO= 1360 mg/L el proceso de foto-Fenton se extendió hasta reducir el 37.5 % del COD inicial empleando para ello 15 mM de H₂O₂ y 216 minutos de tiempo de iluminación. El efluente neutralizado (COD: 300 mg/L, DQO: 590 mg/L) se trató en el bioreactor durante cinco días, obteniendo un COD final de 52 mg/L. No obstante, tras 1.5 días de biotratamiento el COD ya se había reducido hasta 75 mg/L. Por tanto, la prolongación del biotratamiento más allá de dos días no reporta un beneficio notable en la eficiencia del proceso combinado. La eficiencia del sistema combinado fue del 84 %, 37.5 % correspondiente al proceso fotocatalítico y 46.5 % a la etapa biológica. Durante el ensayo se tomaron varias muestras a lo largo del tratamiento combinado

para evaluar tanto la evolución de las materias activas contenidas en los plaguicidas como de la toxicidad expresada como el porcentaje de inhibición de la bacteria marina *Vibrio fischeri*. La toxicidad se redujo a medida que se avanzó en el proceso de foto-Fenton, alcanzando un valor mínimo al final del fototratamiento, y manteniéndose durante la etapa biológica. La identificación y cuantificación de los principios activos contenidos en las aguas de lavado de envases se realizó mediante cromatografía de líquidos acoplada a espectrometría de masas empleando un analizador de tiempo de vuelo (LC-TOF-MS). En este trabajo se hizo uso de un método automatizado que dispone de una biblioteca de espectros de masas de una gran variedad de plaguicidas conocidos. En el agua de lavado de envases se identificaron doce principios activos de plaguicidas en concentraciones variables. En la figura 6.1 se muestra la evolución de la concentración de cada uno de los doce principios activos identificados a lo largo del tratamiento combinado. La concentración de todos los compuestos disminuyó durante el proceso combinado, principalmente durante la etapa de foto-Fenton. Tras el tratamiento biológico, todas las sustancias se eliminaron por completo excepto dos de ellas (pirimetanil y tiacloprid), que se detectaron en el orden de decenas de $\mu\text{g/L}$.

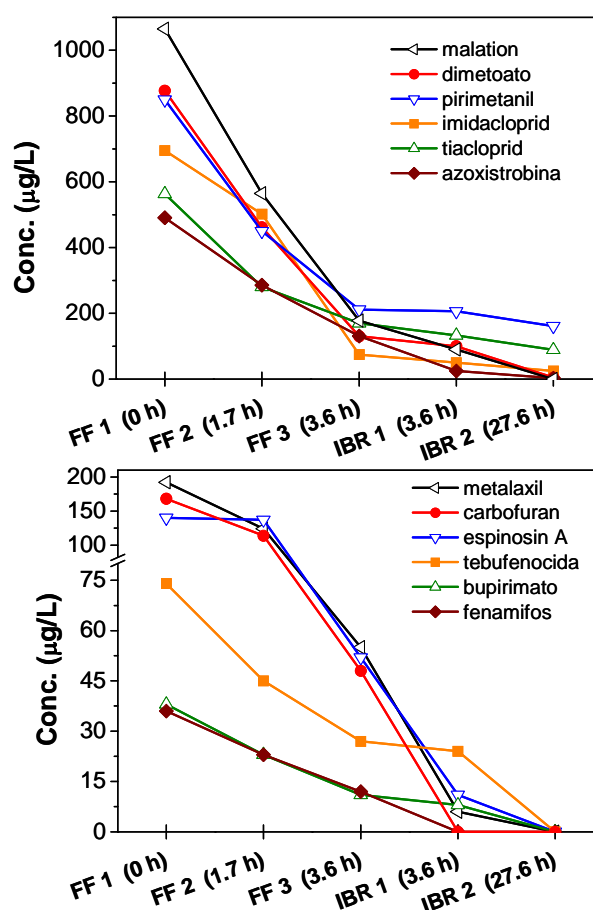


Figura 6.1 Evolución de la concentración de los plaguicidas contenidos en el agua real durante el sistema combinado foto-Fenton / biológico (COD_0 : 480 mg/L). Se incluyen los tiempos de tratamiento de cada una de las muestra

Las conclusiones generales de este proyecto, finalizado durante 2010 han sido:

- Cuando se trata un agua residual compleja, la integración de tratamientos de oxidación avanzada y biológicos es mucho más versátil que cada uno de estos tratamientos por separado, y muy a menudo sinérgica.

- La utilización de la radiación solar en estos procesos puede suponer un fuerte ahorro energético mediante un correcto diseño del fotorreactor.
- Todo ello debe ir acompañado de un estudio pormenorizado del impacto ambiental mediante técnicas de análisis del ciclo de vida (ACV) y de costes, que además permiten comparar entre diferentes tecnologías.

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 2010, the industrial-scale combined system photo-Fenton/IBR was able to successfully decontaminate real wastewater, coming from the washing of pesticide containers. Additionally, the composition of the real wastewater was determined by LC-MS-TOF using an accurate-mass database (ca 300 compounds in 20 minutes). Moreover, two other studies were performed. (i) the effect of saline effluent conditions (SO_4^{2-} and Cl^- in the typical range of concentrations found natural waters 50 – 2000 mg/L, influence of NaCl at 5 g/L and sea water conditions at 35 g/L of NaCl; (ii) formation of halogenated degradation by-products by LC-MS-TOF under saline effluent conditions with photo-Fenton treatment. The main outputs of the project have been: (i) when treating complex wastewater (e.g., mature municipal landfill leachates or pharmaceutical WW), the integration of biological and chemical treatments results in synergistic effects that allow to save costs and increase the effectiveness of the overall treatment; (ii) it is feasible to exploit solar light in photochemical reactors to save chemicals and energy when treating wastewater containing toxic pollutants; (iii) innovative methods for immobilizing (and/or recovering) photo-catalysts on the surface of commercial polymers have been developed, implemented and are now available; (iv) definition and testing of conceptual models of existing treatment systems and assessment of suitable software for LCA and LCC modeling and calculations have allowed to compare the sustainability of investigated technologies.*

Publicaciones

Carla Sirtori, Ana Agüera, Wolfgang Gernjak, Sixto Malato. Effect of water-matrix composition on Trimethoprim solar photodegradation kinetics and pathways. *Wat. Res.*, 44, 2735-2744, **2010**.

A. Zapata, I. Oller, C. Sirtori, A. Rodríguez, J.A. Sánchez-Pérez, A. López, M. Mezcuca, S. Malato. Decontamination of industrial wastewater containing pesticides by combining large-scale homogeneous solar photocatalysis and biological treatment. *Chemical Engineering Journal*, 160, 447–456, **2010**.

Carla Sirtori, Ana Zapata, Wolfgang Gernjak, Sixto Malato, Antonio Lopez, Ana Agüera. Solar photo-Fenton degradation of nalidixic acid in waters and wastewaters of different composition. Analytical assessment by LC-TOF-MS. *Wat. Res.*, **in press**.

Sixto Malato. Biorecalcitrant industrial wastewater treatment by integrating advanced oxidation and biological processes. Innovative and sustainable technologies for urban and industrial wastewater treatment. 27 de Enero, **2010**. Gante, Bélgica. Comunicación oral.

C. Sirtori, A. Zapata, S. Malato, A. Agüera. Evaluation of the Formation of Chlorinated Intermediates During Photo-Fenton Treatment of Saline Wastewaters. Poster presentation. Proceedings of the 6th European Meeting on Solar Chemistry and Photocatalysis:

Environmental Applications. Praga, 13-16 de Junio, 2010. Josef Krysa (Ed.). ICT Prague Press, Praga. ISBN 978-80-7080-750-7. pp. 449-450.

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); Sixto Malato (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.

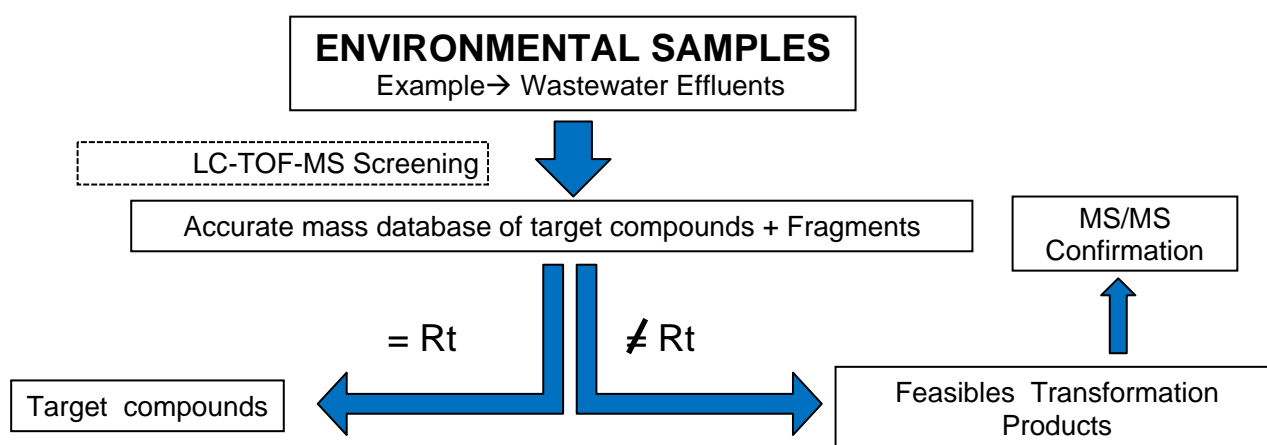
Resultados durante 2010. Desde el punto de vista analítico se ha dedicado esfuerzo a la mejora de los métodos actualmente utilizados, tanto en la caracterización de aguas residuales como en la evaluación de la efectividad de los tratamientos de regeneración aplicados a las mismas.

1) Se ha desarrollado una metodología analítica automatizada que mejora los actuales métodos de determinación de compuestos apolares, mediante extracción con barras magnéticas (SBSE) seguido de análisis por cromatografía de gases bidimensional con detector de masas de tiempo de vuelo (GCxGC-TOF-MS). El método se ha aplicado con éxito a la determinación de productos de higiene personal (PCP), hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH) y plaguicidas alcanzándose límites de detección iguales o inferiores a 1 ng / L para la mayoría de los compuestos en muestras reales. El método también ha permitido la identificación de compuestos

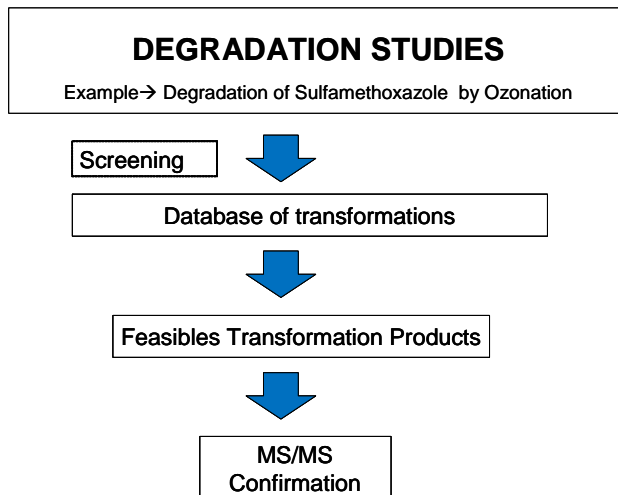
no-seleccionados o desconocidos, como es el caso del colesterol y sus productos de degradación. El sistema de análisis también permiten comparar las huellas digitales de muestras de agua diferentes para obtener información acerca de, por ejemplo, la variación de la contaminación a lo largo de un río afectado por el vertido de aguas residuales urbanas, o la variación en el tiempo de la composición de un efluente. Este estudio se ha realizado en colaboración con el Instituto Madrileño del Agua (IMDEA).

2) Se ha desarrollado un protocolo de identificación semiautomática de productos de transformación (PT) desconocidos generados durante procesos de tratamiento de aguas residuales. La identificación de PT es una tarea compleja que implica un elevado coste en tiempo y esfuerzo. A menudo se realiza mediante la inspección manual de los cromatogramas, por lo que intermedios que coeluyen o aparecen a baja concentración son ignorados. Se ha trabajado, por tanto, en desarrollar métodos semiautomático de screening basado en el empleo de bases de datos de masa exacta en combinación con sistemas avanzados de tratamiento de datos. Se han aplicado dos estrategias:

- La primera se basa en el supuesto de que algunos PT mantienen una estructura similar a la del compuesto original y, por tanto, pueden presentar iones fragmento comunes. La presencia de estos iones característicos a un tiempo de retención diferente al del analito puede ser indicativa de un posible PT. Para la detección de estos PT se ha elaborado una base de datos de masa exacta para 50 contaminantes emergentes y sus fragmentos característicos. Un resumen del procedimiento a seguir se muestra en el siguiente esquema:

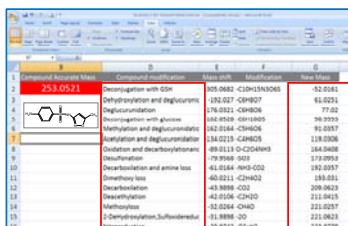


- La segunda estrategia está basada en el cálculo teórico de los posibles PT que pueden generarse a partir de una molécula determinada, basado en el conocimiento de reacciones de transformación típicas (pérdidas neutrales de grupos funcionales, de-metilación, oxidación, hidroxilación, de-halogenación, etc.) La masa exacta de los compuestos estudiados se introduce en la base de datos y automáticamente se genera una lista de las masas exactas de posibles TP y se realiza su búsqueda en el cromatograma de la muestra. Abajo se muestra un diagrama de flujo del procedimiento a seguir. En última instancia los PT identificados han de confirmarse con posteriores análisis por MS/MS o mediante la adquisición de los correspondientes estándares.

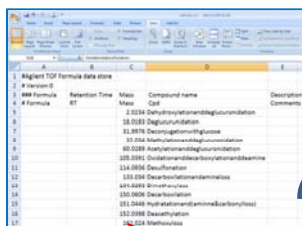


Las estrategias propuestas se están probando con efluentes de aguas residuales reales y en estudios de degradación de contaminantes emergentes mediante tecnologías de oxidación avanzada. Un ejemplo de aplicación se observa a continuación:

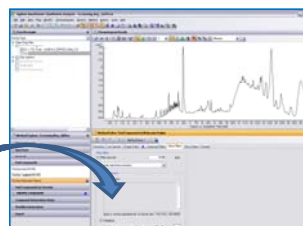
1. Elaboración de Base de Datos de posibles TPs



2. Base de Datos en formato CSV



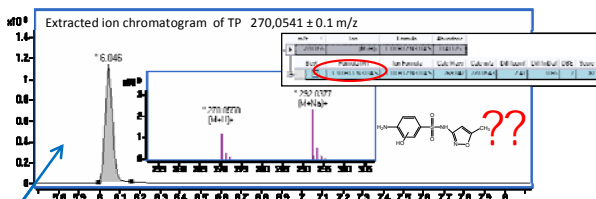
3. Búsqueda e identificación automática de TPs



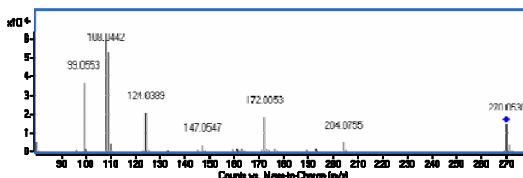
4. Informe generado de posibles TPs de Sulfametoxazol

| Name | RT | Mass | Diff (Tgt, ppm) | Score (DB) |
|--|------------|-----------------|-----------------|--------------|
| SulfamethoxazoleF5 | 1,8 | 98,0478 | -2,01 | 99,41 |
| Didemethylation +Acethylester | 4,5 | 267,0318 | 2,04 | 97,59 |
| Nitrooxylation | 5,2 | 283,0265 | 0,78 | 99,62 |
| Nitrooxylation | 5,6 | 283,0271 | 2,73 | 95,45 |
| Nitrooxylation | 8,2 | 283,0263 | 0,1 | 99,99 |
| 1-Hydroxylation,N-oxidation.... | 6,0 | 269,0471 | 0,44 | 99,89 |
| 3-Hydroxylation | 4,4 | 301,0360 | -2,78 | 45,22 |

5. Búsqueda manual del compuesto



6. Confirmación de la estructura mediante MS/MS



Otros trabajos realizados incluyen:

-Determinación de presencia y destino de penicilinas en aguas residuales, caracterización de sus principales PT y estudio de la estabilidad de los mismos durante los tratamientos biológicos. De especial interés en este estudio fue la caracterización y determinación de la presencia de PT de amoxicilina y penicilina G en efluentes de EDAR y su determinación por primera vez en aguas de río, lo que corrobora la importancia de investigar la formación de PT durante los tratamientos.

- Se está elaborando una publicación que resume los resultados de los estudios de seguimiento realizados en las 5 EDAR seleccionadas para su estudio al principio del proyecto y que se encuentran recogidos de forma detallada en la base de datos de calidad de las aguas de EDARs

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 2010 research efforts have been done to include new advanced instrumentation (SBSE followed by GCxGC-TOF-MS) to improve currently available methodologies for screening and detecting hundreds of contaminants at ultratrace levels. The research has not be limited to known species (target analysis approach) but also to unknown or unexpected species (non-target analysis approach), generated during the application of water treatments (TPs). These studies are usually accomplished manually and can take days or even weeks. In this work, we propose the use of different approaches in order to automate the procedure of identifying transformation products of emerging contaminants in samples of environmental interest, based on the use of advanced LC-MS data processing software combined with user-created libraries of target species of interest (including molecules and characteristic fragment ions common to a chemical-class, so called "diagnostic ions"). A tentative 2-step approach would consist of a target database search using an AMRT database (accurate mass of parent ions + retention times), followed by a non-target screening step using the diagnostic ions of the detected species during the first step. Besides, alternatively an in-silico approach based on the theoretical calculation of tentative transformation products of the targeted parent species (based on typical metabolization reactions (neutral losses of functional groups, (de)methylation, oxidation, (de)chlorination, etc)) is also being evaluated as a complementary tool. The different proposed approaches are being tested with degradation studies of emerging contaminants using advanced oxidation technologies.*

Publicaciones:

Muñoz, I., Milà-I-Canals, L., Fernández-Alba, A.R. "Life Cycle Assessment of Water Supply Plans in Mediterranean Spain: The Ebro River Transfer Versus the AGUA Programme." *Journal of Industrial Ecology* 14 (6), 902-918, **2010**.

Muñoz, I., del Mar Gómez, 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 (1), 1-9., **2010**.

Trovó, A.G., Pupo Nogueira, R.F., Agüera, A., Fernandez-Alba, A.R., Malato, S. Degradation of the antibiotic amoxicillin by photo-Fenton process - Chemical and toxicological assessment. *Water Research* 45 (3), 1394-1402, **2010**.

Klamerth, N., Malato, S., Maldonado, M.I., Agüera, A., Fernández-Alba, A. Modified photo-Fenton for degradation of emerging contaminants in municipal wastewater effluents. *Catalysis Today*. **En prensa**

Gómez, M.J., Gómez-Ramos, M.M., Malato, O., Mezcuca, M., Fernández-Alba, A.R. Rapid automated screening, identification and quantification of organic micro-contaminants and their main transformation products in wastewater and river waters using liquid chromatography-

quadrupole-time-of-flight mass spectrometry with an accurate-mass database. *J. Chromatogr. A* 1217 (45), 7038-7054, **2010**.

Teijon, G., Candela, L., Tamoh, K., Molina-Díaz, A., Fernández-Alba, A.R. Occurrence of emerging contaminants, priority substances (2008/105/CE) and heavy metals in treated wastewater and groundwater at Depurbaix facility (Barcelona, Spain). *Science of the Total Environment* 408 (17), 3584-3595, **2010**.

Pérez, G., Fernández-Alba, A.R., Urtiaga, A.M., Ortiz, I. Electro-oxidation of reverse osmosis concentrates generated in tertiary water treatment. *Water Research* 44 (9), 2763-2772, **2010**.

Klamerth, N., Malato, S., Maldonado, M.I., Agüera, A., Fernández-Alba, A.R. Application of photo-fenton as a tertiary treatment of emerging contaminants in municipal wastewater. *Environmental Science and Technology* 44 (5), 1792-1798, **2010**.

Klamerth, N., Rizzo, L., Malato, S., Maldonado, M.I., Agüera, A., Fernández-Alba, A.R. Degradation of fifteen emerging contaminants at $\mu\text{g L}^{-1}$ initial concentrations by mild solar photo-Fenton in MWTP effluents. *Water Research* 44 (2), pp. 545-554, **2010**.

Rosal, R., Rodríguez, A., Perdigón-Melón, J.A., Petre, A., García-Calvo, E., Gómez, M.J., Agüera, A., Fernández-Alba, A.R. Occurrence of emerging pollutants in urban wastewater and their removal through biological treatment followed by ozonation. *Water Research* 44 (2), 578-588, **2010**.

Bueno, M.J.M., Hernando, M.D., Herrera, S., Gómez, M.J., Fernández-Alba, A.R., Bustamante, I., García-Calvo, E. Pilot survey of chemical contaminants from industrial and human activities in river waters of Spain. *Int. J. Environmental Analytical Chemistry* 90 (3-6), 321-343, **2010**.

Andres. Pérez-Parada, A. Agüera, M.M. Gómez-Ramos, J.F. García-Reyes, H. Heinzen, A.R. Fernández-Alba. Behaviour of amoxicillin in wastewater and river water: identification of its main transformation products by liquid chromatography – electrospray quadrupole time of flight mass spectrometry. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*. **En prensa**.

M.J. Gómez, S. Herrera, D. Solé, E. García-Calvo, A.R. Fernández-Alba, Automatic Searching and Evaluation of Priority and Emerging Contaminants in Wastewater and River Water by Stir Bar Sorptive Extraction followed by Comprehensive Two-Dimensional Gas Chromatography-Time-of-Flight Mass Spectrometry. *Analytical Chemistry*. **En prensa**.

N. Klamerth, M.I. Maldonado, A. Agüera, A.R. Fernández-Alba, S. Malato. Application of modified mild photo-Fenton as a tertiary treatment for municipal wastewater. 6th European Meeting on Solar Chemistry and Photocatalysis: Environmental Applications (SPEA6). Praga, **2010**. Poster.

Andres. Pérez-Parada, H. Heinzen, M.M. Gómez-Ramos, J.F. García-Reyes, A. Agüera, and A.R. Fernández-Alba. Determination of penicillins and its main degradation products in effluent and effluent from a wastewater treatment plant by LC-Q-TOF. 28th International Symposium on Chromatography (ISC2010), Valencia, **2010**. Poster.

J.F. García-Reyes, A. Pérez-Parada, M.M. Gómez-Ramos, A.R. Fernández-Alba, J. Robles Molina, J.C. Domínguez-Romero, B. Gilbert-López, A. Molina-Díaz, A. Agüera. Development of data processing workflows for the automated detection of transformation products of emerging contaminants in the environment.. 28th International Symposium on Chromatography (ISC2010), Valencia, **2010**. Poster.

M.J. Martínez-Bueno, S. Ucles, M.D. Hernando, A. Agüera, A.R. Fernández-Alba. Comparative study of two different LC-QLIT-MS/MS operation modes applied to the analysis of psychoactive

stimulatory and tranquilizing drugs in wastewater by direct injection. 28th Internacional Symposium on Chromatography (ISC2010), Valencia, **2010**. Oral.

J.F. García-Reyes, J. Robles Molina, J.C. Domínguez-Romero, B. Gilbert-López, A. Molina-Díaz, A. Agüera, A. Pérez-Parada, M.J. Gómez-Ramos, M.M. Gómez-Ramos, M. Mezcua, A.R. Fernández-Alba. Use of Achúrate-Mass databases of molecules and diagnostic ions for LC-MS-based targeted and untargeted screening of emerging contaminants in environment. 58th ASMS Conference on Mass Spectrometry and Allied Topics. Utah, **2010**. Poster.

Ana. Agüera, A. Pérez-Parada, M.M. Gómez-Ramos, A.R. Fernández-Alba, J. Robles Molina, J.C. Domínguez-Romero, B. Gilbert-López, J.F. García-Reyes, A. Molina-Díaz. Development of data processing workflows for the automated detection of transformation products of emerging contaminants in the environment. VII ANQUE International Congress. Integral Water Cycle Present and Future. Oviedo, **2010**. Cartel.

Klamerth, N., Maldonado, M.I., Agüera, A., Fernández-Alba, A.R., Malato, S. Application of modified mild photo-Fenton as a tertiary treatment for municipal wastewater. VII ANQUE International Congress. Integral Water Cycle Present and Future. Oviedo, **2010**. Cartel.

Ana. Agüera, A. Pérez-Parada, M.M. Gómez-Ramos, J. Robles Molina, J.C. Domínguez-Romero, B. Gilbert-López, J.F. García-Reyes, A. Molina-Díaz, A.R. Fernández-Alba. Desarrollo de flujos de trabajo automatizados de procesamiento de datos para la detección de productos de transformación de contaminantes orgánicos en muestras medioambientales. XII GRASECA 2010. Cordoba, **2010**. Cartel.

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)

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: Finalizado.

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 2010: El proyecto finalizó en marzo del año 2010, por lo que la actividad 3 de aplicación de las aguas tratadas en la agricultura se dio por finalizada con los ensayos realizados en los dos años anteriores de proyecto. Los estudios se realizaron con agua residual depurada hasta tratamiento secundario sobre un cultivo industrial y con agua residual regenerada con foto-Fenton solar sobre cultivos hortícolas. De los resultados obtenidos de reutilización podemos concluir que:

- Desde un punto de vista productivo, el agua residual urbana depurada únicamente con tratamiento secundario es viable para su utilización como agua de riego en un cultivo de tabaco para biomasa.
- La utilización de esta agua produce acumulación de compuestos en suelo, aunque algunos de ellos como PAHs y metales son extraídos en gran parte por la planta.
- Técnicamente el empleo de agua residual urbana depurada hasta tratamiento secundario ofrece una serie de problemas, como obturación de goteros por biofilm, que pueden ser solventados por medio de tratamientos adicionales. Es el caso de la microfiltración que adicionalmente elimina *Escherichia coli* y gran parte de la carga microbiana del agua.
- El tratamiento con foto-Fenton solar disminuye por lo general los niveles microbiológicos y de los contaminantes analizados en el agua a niveles traza, lo que evita que en los dos ensayos realizados se hayan acumulado contaminantes orgánicos en el sustrato.

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. The project has finalized in March 2010. The main conclusions have been : (i) effluent from secondary treatment of a municipal wastewater treatment plant could be used directly for biomass production with decrease in production; (ii) nevertheless, direct use produces accumulation of PAHs and heavy metals in the soil, only partially extracted by the plants; (iii) direct use produces also problems in irrigation systems; (iv) treatment by photo-Fenton diminishes drastically the microorganisms and contaminants.*

Publicaciones:

Sirtori, C., Agüera, A., Gernjak, W., Malato, S., Effect of water-matrix composition on Trimethoprim solar photodegradation kinetics and pathways. *Water Research* 44 (9), 2735-2744, **2010**.

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*. **En prensa**

6.4: DESARROLLO DE NUEVAS ESTRATEGIAS BASADAS EN FOTOCATÁLISIS SOLAR PARA LA REGENERACIÓN DE AGUAS DEPURADAS (FOTOREG)

Participantes: Grupo de Inv. “Residuos de Plaguicidas” (CIESOL, Univ. De Almería); 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: Ana Agüera (aaguera@ual.es), J.A. Sánchez (jsanchez@ual.es), M.I. Maldonado (mignacio.maldonado@psa.es).

Fuente de financiación: Ministerio de Ciencia e Innovación

Duración prevista: De 01/01/2011 a 31/12/2013

Situación: Iniciado

Antecedentes: La reutilización de aguas residuales requiere de tratamientos físico-químicos de afino que devuelvan al agua una calidad adecuada al destino previsto. Existen actualmente nuevas tecnologías para lograr estos fines, pero los diferentes costes y problemáticas en cuanto a su aplicación indican la necesidad de profundizar en su estudio, teniendo en cuenta la minimización del coste energético y el riesgo ambiental que facilite su implementación. Es también necesario, para garantizar la calidad de las aguas regeneradas, evaluar estos tratamientos mediante técnicas analíticas sofisticadas, que permitan conocer en detalle los contaminantes presentes y sus niveles de concentración, incluyendo el estudio del riesgo potencial asociado a la reutilización del agua tratada.

Objetivos: Se trata de un proyecto coordinado cuyo objetivo general es estudiar nuevas estrategias tecnológicas sostenibles basadas en el uso de la energía solar, para la regeneración de aguas residuales con el fin de su reutilización para usos agrícolas, industriales o recreativos (según RD 1620/2007). Como objetivos específicos de este subproyecto se incluyen la caracterización química de las aguas residuales utilizadas durante el proyecto y la evaluación analítica de la eficiencia de los tratamientos aplicados con el fin de confirmar la eliminación de los contaminantes presentes en las aguas residuales y garantizar la calidad de las aguas regeneradas. Asimismo se estudiará la viabilidad de la aplicación de las aguas regeneradas mediante los tratamientos terciarios como agua de riego.

Resultados durante 2010: El proyecto ha comenzado en Enero de 2011, por lo que aun no se cuenta con resultados reseñables.

Abstract. *The objective of the project is to explore new sustainable strategies based on the use of solar energy, for the regeneration of wastewater in order to reuse for agricultural, industrial or recreational purposes, (as RD 1620/2007). In this sense, attention should be given both the disinfection of the treated water from secondary processes (biological, activated sludge), and the elimination of recalcitrant pollutants that remain in the cycle of water reuse and accumulate in the environment.*

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 bombas de absorción para ser acopladas a captadores solares: CLIMATEWELL, UNIPOLAR.
- 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).
- Real Sociedad Española de Física (RSEF), subcontratada para la elaboración de los Módulos Educativos a nivel de Infantil, Primaria y Secundaria.

Coordinador: CIEMAT.

Contactos: Francisco Javier Batlles (fbatlles@ual.es). M^a del Rosario Heras (mrosario.heras@ciemat.es). M^a José Jiménez (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 está experimentando un gran aumento en los últimos veranos como consecuencia de sus características geográficas y climatológicas.

Objetivos: Se pretende analizar en el edificio CIESOL: el comportamiento termodinámico del sistema de calefacción y refrigeración instalado basado en equipos de energía solar térmica que cubran las necesidades energéticas, la instalación de un sistema fotovoltaico conectado a la Red

y la instalación de un sistema de monitorización para evaluar el confort y el comportamiento energético del edificio en condiciones reales de uso del edificio.

Resultados durante 2010: Durante este año se han realizado las siguientes tareas:

a. Modelización de una maquina de absorción utilizando redes neuronales artificiales

El principal objetivo de este estudio era predecir y evaluar el comportamiento del sistema de frío solar instalado en el edificio Ciesol, basado en una maquina de absorción de simple efecto alimentada únicamente por agua caliente procedente del dos tanques calientes. Se determinó arquitectura de una red neuronal artificial con el mínimo número de entradas, con el fin de estimar el coeficiente de operación y la capacidad frigorífica de la máquina de absorción. Se utilizó un Perceptrón Multicapa (MLP) para estimar los parámetros mencionados anteriormente y se realizó una selección de las variables de entrada más relevantes, basándose en los errores adquiridos por la red. Se comprobó diferentes topologías de la red variando el número de neuronas en la capa de entrada y en capa oculta. Finalmente se eligió una configuración óptima para el sistema descrito, basándose en los errores logrados por la red. El modelo desarrollado muestra resultados satisfactorios con los errores RMSE menores de 2,25 % y una desviación prácticamente igual al cero, para cada parámetro de salida. Se estableció un modelo que puede ser utilizado para predecir el coeficiente de operación y la capacidad frigorífica de cualquier maquina de absorción alimentada por energía energía acumulada en los depositos de agua caliente, teniendo en cuenta exclusivamente las variables más importantes, tales como: temperaturas del generador, evaporador y del segundo deposito. Adquiriendo resultados satisfactorios se destaca la posibilidad de aplicar las redes neuronales para la predicción del comportamiento de la máquina de absorción y la instalación completa trabajando en varios modos de operación, considerando todas las fuentes de energía disponibles para el correcto funcionamiento del sistema. Los principales resultados de este estudio se reflejan en la publicación “Performance study of solar-assisted air-conditioning system provided with storage tanks using artificial neural networks” (Rosiek and Batlles, International Journal of Refrigeration – en revisión).

b. Modelo de predicción de temperatura de salida de un captador solar plano

Es interesante conocer el incremento de temperatura que experimentará el fluido al pasar a través del captador en unas condiciones dadas, y en qué circunstancias no alcanzará la temperatura umbral necesaria, o en cuáles puede llegar a ser perjudicial para el interés del usuario o del proceso. Para ello, además de la monitorización del sistema, pueden emplearse modelos numéricos, que ayudarán a ampliar la visión del sistema y que pueden incluirse en sistemas de control por adelanto. Otra de las ventajas de los modelos predictivos, es la de poder realizar ensayos virtuales previos a los reales, y así prever y evitar, si fuese el caso, situaciones que pudieran dañar al sistema o a los equipos debido a una temperatura excesivamente alta del fluido caloportador. Se realizó un modelo físico para predecir la temperatura del fluido a la salida de un captador solar plano. Para ello se propuso un sistema de ecuaciones no lineales acopladas que describan los balances energéticos fundamentales en el captador, y que se resolverá iterativamente hasta su convergencia, con las temperaturas de los diferentes elementos del captador como incógnitas. De esta forma, además de conocer la temperatura de salida del fluido, se obtienen el resto de temperaturas promedio del captador implicadas en las ecuaciones de balance, como son la temperatura de la placa o la de la cubierta. Además se evita linearizar los términos radiativos y el cálculo de factores intermedios introducidos por desconocer la temperatura media de la placa absorbadora. Se ha programado el modelo numérico en base a las ecuaciones físicas de balance de flujo de calor, se han comprobado los resultados devueltos al variar distintos parámetros de entradas y se ha comparado la simulación con resultados dados por TRNSYS bajo las mismas condiciones atmosféricas y radiativas, estableciendo la desviación

cometida por el modelo propuesto. Se mostró cómo el comportamiento del modelo es equivalente al comportamiento sugerido por TRNSYS, siendo el error medio entre las predicciones de 0,3 °C. Los principales resultados de este estudio se reflejan en la publicación “Modelo propuesto de predicción de temperatura de salida de un captador solar plano.” (Escrig et al, 2010).

c. Análisis de los resultados de la instalación fotovoltaica conectada a red del edificio Ciesol.

Con el objetivo de abastecer el consumo eléctrico de la iluminación del edificio Ciesol se ha instalado una planta fotovoltaica de 9,32 Kwp. La instalación está formada por un campo fotovoltaico de 42 paneles inclinados 22° y conectados en series de 14 paneles. Cada una de las series está conectada a un inversor monofásico de conexión a red de 2,5 Kw nominales de potencia de salida. Dicha instalación funciona en régimen de autoconsumo. Abastece al edificio, conjuntamente con la red de suministro general de la Universidad. En aquellos momentos del día en los que el nivel de radiación solar es óptimo, cuando la demanda de consumo eléctrico del edificio sea lo suficientemente baja, la energía producida por la instalación fotovoltaica cubrirá este consumo y el resto se enviará a la red de suministro. Cuando la demanda de consumo del edificio sea lo suficientemente elevada, la energía fotovoltaica será autoconsumida por el propio edificio además de necesitar el aporte exterior de la red eléctrica convencional. Se analizaron los primeros resultados de producción energética de la instalación fotovoltaica y su acoplamiento a la demanda de consumo eléctrico del edificio. También se ha simulado la instalación con ayuda del programa PVsyst. Los resultados obtenidos se han comparado con los datos reales medidos. Los principales resultados de este estudio se reflejan en la publicación “Análisis de los primeros resultados de la instalación fotovoltaica conectada a la red del edificio CIESOL” (Rodríguez and Batlles, 2010).

d. Estudio de la instalación de bomba de calor acoplada a intercambiadores geotérmicos mediante tubos enterrados.

Dentro del subproyecto SP-8 del proyecto Arfrisol se pretende optimizar los elementos que se han implementado en los sistemas activos. Con tal fin, dentro de las instalaciones del Ciesol se detectaron algunas posibles mejoras asociadas al sistema de disipación de calor mediante torre de refrigeración, que se integra en el sistema de acondicionamiento mediante máquina de absorción. Así pues, se llevó a cabo la implementación de una instalación de intercambiadores geotérmicos enterrados que ofrezca alternativas a dicho sistema. Se analizaron los primeros resultados de la instalación de una bomba de calor agua-agua, acoplada a un sistema de intercambio geotérmico mediante tubos horizontales enterrados. Los principales resultados de este estudio se reflejan en la publicación “Primeros resultados del estudio de la instalación de bomba de calor acoplada a intercambiadores geotérmicos mediante tubos enterrados.” (Bellido and Batlles, 2010).

e. Instalación de un sistema de evacuación del calor utilizando agua del subsuelo.

Se finalizó una instalación alternativa a la existente para la disipación del calor residual que se produce en la máquina de absorción. Se trata de aprovechar las posibilidades de refrigeración que nos ofrece el agua del subsuelo, sustituyendo la torre de refrigeración, que tiene un consumo de agua desmineralizada importante, además de ser una posible fuente de legionella. Se excavaron dos pozos de la profundidad de 20 m para obtener agua del subsuelo y trasegar esa agua de un pozo al otro, pasándola por un intercambiador de placas a contracorriente situado en el edificio CIESOL y a través del cual se produce el enfriamiento del agua procedente de la máquina de absorción. Los pozos están separados con una distancia de 100 metros. El funcionamiento de la instalación es simple. Una bomba sumergible ubicada en el pozo más cercano vehicula el agua del pozo por una tubería a unos 15.000 litros/hora de caudal

aproximadamente. El agua a una temperatura media de 21°C sale del pozo y se dirige a un intercambiador situado en el edificio Ciesol. En el intercambiador aumenta su temperatura, extrayendo calor del circuito de calor residual de la máquina de absorción. Una vez calentada, el agua se vehicula hasta el pozo más alejado. Este proceso se realiza de manera continua siempre que sea necesario evacuar calor del proceso. Al otro lado del intercambiador, circula el agua procedente de la máquina de absorción.

f. Análisis de Ciclo de Vida del abastecimiento térmico solar en el edificio CIESOL

Se comparó el impacto ambiental del abastecimiento de frío y calor en el edificio, mediante energía solar (térmica y fotovoltaica) y bomba de calor convencional (electricidad de red). El estudio incluye todos los equipos necesarios para el funcionamiento del sistema de frío/calor tales como y también información sobre fabricación, operación y desmantelamiento de los mismos. El sistema de abastecimiento solar supone un ahorro de energía y de emisiones de CO₂, pero implica una mayor presión sobre los recursos de agua, debido al consumo de agua desionizada (torre de refrigeración) en una región con pocos recursos como Almería. Los principales resultados de este estudio se reflejan en la publicación “Environmental assessment of the CIESOL solar building after two years operation.”, (Batlles et al, Environmental Science and Technology, 2010).

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 CO₂ 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 analyze 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-H₂O 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.

Publicaciones:

Rosiek, S., Batlles, F.J. Modelling a solar-assisted air-conditioning system installed in CIESOL building using artificial neural network. *Renewable Energy*, 35, 2894-2901. **2010**.

Batlles, F.J., Rosiek, S., Muñoz, I., Fernández-Alba, A.R. Environmental assessment of the CIESOL solar building after two years operation. *Environmental Science and Technology*, 44, 3587-3593. **2010**.

Rosiek, S., Batlles, F.J. Performance study of solar-assisted air-conditioning system provided with storage tanks using artificial neural networks. *International Journal of Refrigeration*, **en prensa**.

Rosiek, S., Batlles, F.J. Performance evaluation of solar-assisted air-conditioning system with chilled water storage (CIESOL building). *Energy*, **en prensa**.

Rosiek, S., Batlles, F.J. Exergy analysis of solar-assisted air-conditioning system. *International Journal of Refrigeration*, **en prensa**.

Escrig, H., Rosiek, S., Batlles, F.J. Modelo propuesto de predicción de temperatura de salida de un captador solar plano. I Congreso sobre Arquitectura Bioclimática y Frío Solar. Almería, **2010**.

Rosiek, S., Batlles, F.J. Modelización de una máquina de absorción mediante redes neuronales artificiales. I Congreso sobre Arquitectura Bioclimática y Frío Solar. Almería, **2010**.

Rodríguez, H., Batlles, F.J. Análisis de los primeros resultados de la instalación fotovoltaica conectada a la red del edificio CIESOL. I Congreso sobre Arquitectura Bioclimática y Frío Solar. Almería, **2010**.

Bellido, L., Batlles, F.J. Primeros resultados del estudio de la instalación de bomba de calor acoplada a intercambiadores geotérmicos mediante tubos enterrados. I Congreso sobre Arquitectura Bioclimática y Frío Solar. Almería, **2010**.

7.2. 1^{er} CONGRESO SOBRE ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA Y FRÍO SOLA (PSE-ARFRISOL)

Del 23 al 26 de marzo de 2010 se celebró en el hotel Playadulce de Roquetas de Mar (Almería) el 1^{er} Congreso de Arquitectura Bioclimática y Frío Solar organizado por el Dpto. de Física Aplicada de la Universidad de Almería en colaboración con el CIEMAT.

El acto de apertura estuvo presidido por D. Pedro Molina García, Rector de la UAL; D^a María Luisa Castaño, Subdirectora General de Estrategias de Colaboración Público-Privada; D. Valeriano Ruiz Hernández, Presidente del CTAER; D^a Rosario Heras Celemin, Coordinadora General del Proyecto ARFRISOL y D. Francisco Javier Batlles Garrido, Presidente del Comité Organizador.

El objetivo de este congreso fue dar a conocer a la sociedad en general y a los profesionales relacionados con la arquitectura, ingeniería y la construcción, las investigaciones realizadas en el marco del proyecto ARFRISOL, durante estos 5 años de trabajo. Al congreso asistieron 150 ponentes procedentes de diferentes lugares de España y se presentaron 200 ponencias, todas ellas de un alto nivel científico. Todos los trabajos completos se publicaron en el libro "Arquitectura Bioclimática y Frío solar (PSE-ARFRISOL)". También se editó un CD, con los videos y fotos más representativas de estas jornadas, así, como las ponencias en PDF.

Anexo 1

MASTER EN ENERGÍA SOLAR

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

Contactos: F. Batlles (fbatlles@ual.es).

Fuente de financiación: Matrículas y subvenciones públicas y privadas.

Duración prevista: 1 curso académico.

Situación: En funcionamiento V Master (Curso Académico 2010-2011)

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 |
| Evaluación de recursos energéticos solares | 3.5 | 1º |
| Fundamentos de Termodinámica Técnica | 3 | 1 |
| 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 | 1.0 | 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 2010: El comienzo del curso 2009-2010 tuvo lugar el día 18/10/2009. En esta edición el Master contó con 12 alumnos. Durante este curso académico los alumnos realizaron un trabajo fin de master

Anexo 2

ACTIVIDADES DE TRANSFERENCIA

Seminario de voluntariado ambiental. “Energías renovables”.

20 de febrero de 2010, Abruena (Almería)

Aula de la Naturaleza Paredes y Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía.

Jornada de presentación en Andalucía del programa de Energía Inteligente para Europa.

Convocatoria 2010.

23 de marzo de 2010, Sevilla

Agencia Andaluza de la Energía, Consejería de Economía, Innovación y Ciencia de la Junta de Andalucía

Jornada sobre oportunidades de negocio en el sector agro a través de la integración de las energías renovables.

20 de mayo de 2010, Almería

Comisión de Industria y Medioambiente de la Cámara de Comercio

Jornadas TT Andalucía: Sector Energías Renovables

22 de junio de 2010, Almería

Centro de Innovación y Transferencia de Tecnología de Andalucía (CITAndalucía) Consejería de Economía, Innovación y Ciencia de la Junta de Andalucía

Exposición “Algo nuevo bajo el Sol” Programa Ventana a la Ciencia, Parque de las Ciencias de Granada.

14 de mayo de 2010 a 30 de septiembre de 2010

Parque de las Ciencias de Granada y Consejería de Economía, Innovación y Ciencia de la Junta de Andalucía. Empresas colaboradoras: ACS Cobra, ALUCOIL, SENER-Torresol Energy, Instituto de Estudios Almerienses

Jornadas Cambio Climático y Economía Local: Desafío y Oportunidades”

16 y 17 de junio de 2010, Almería

Oficina para la Prevención del Cambio climático de la Diputación Provincial de Almería

Jornada sobre ahorro y eficiencia energética en el sector industrial

29 de junio de 2010, Almería

Comisión de Industria y Medioambiente de la Cámara de Comercio

Jornada “Potencial de I+D+i español en el área de las tecnologías energéticas: la oferta y la demanda”

14 de septiembre de 2010, Madrid

Club Español de la Energía

“b2fair” Encuentros sectoriales con empresas e instituciones en el marco de EUROSUN 2010

Del 29 de septiembre al 1 de octubre de 2010, Graz (Austria)

Enterprise Europe Network, b2fair y Cámara de Comercio de Barcelona

Semana de la Ciencia 2010
15 de noviembre a 19 de noviembre de 2010
OTRI Universidad de Almería

Foro de Negocio Mediterráneo 2020 de Energías Renovables.
14 al 17 de diciembre de 2010, Almería
Comisión de Industria y Medioambiente de la Cámara de Comercio de Almería

Programa de Innovación y Transferencia del Conocimiento: “Feria Del Conocimiento”
28 de octubre de 2010, Almería,
Comisión de Industria y Medioambiente de la Cámara de Comercio

Anexo 3

Director Manuel Pérez García
Profesor Titular de la Universidad
de Almería.
mperez@ual.es

Subdirector Sixto Malato Rodríguez
Investigador de O.P.I. CIEMAT
Sixto.malato@psa.es

RESPONSABLES DE ACTIVIDADES

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

COMITÉ DE COORDINACIÓN

| | |
|---|--|
| Vicerrector de Investigación de la Universidad de Almería | vinvest@ual.es |
| Manuel Berenguel (Catedrático de la Universidad de Almería) | beren@ual.es |
| Diego Martínez (Director de la Plataforma Solar de Almería, CIEMAT) | Diego.martinez@psa.es |
| Luis Yebra (Investigador del CIEMAT) | Luis.yebra@psa.es |

COMITÉ CIENTÍFICO

| | |
|--|--|
| Sebastián Dormido Catedrático de Informática y Automática de la UNED | sdormido@dia.uned.es |
| Maria Luisa Castaño Subdirectora General de Coordinación de Centros Tecnológicos y Plataformas Científico-Tecnológicas del MICINN | mluisa.castano@micinn.es |
| Rafael van Grieten Catedrático de Ingeniería Química y Vicerrector de Inv. de la Universidad Rey Juan Carlos | rafael.vangrieken@urjc.es |
| David Serrano Catedrático de Ingeniería Química y Director de IMDEA-Energía | david.serrano@imdea.org |