

CIESOL

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

Título de documento:

Informe de actividades 2011



Referencia: CIESOL-2011-Dirección-01

Revisión: A

Fecha: 15 Abril 2012

Número de páginas: 59

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	11
4. Actividades en Modelado y Control Automático	24
5. Actividades en Evaluación del Recurso Solar	36
6. Actividades en Química Ambiental	40
7. Eficiencia Energética en la Edificación	49
Anexos 1: Master CIESOL en Energía Solar	55
Anexo 2: Actividades de transferencia tecnológica y divulgación	57
Anexo 3: Comités y Responsables de Actividades	59

1. Introducción

El 16 de Diciembre de 2005 se inauguró CIESOL. Este informe pretende compendiar las actividades desarrolladas a lo largo de 2011 y complementa a los cinco informes anteriores (2006-2010) disponibles en las páginas web del centro (<http://www.ciesol.es>, sección documentos). Es necesario destacar que en el sexto año de andadura del centro, que ya se puede considerar consolidado, se han llevado a cabo actividades de investigación en un total de **12 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 en convocatorias competitivas de carácter nacional e internacional, cuyo resultado a la fecha de elaboración de este informe ha sido la concesión de 3 proyectos del Plan Nacional de Investigación. En cuanto a producción científica correspondiente a la anualidad de 2011, es necesario resaltar que los proyectos llevados a cabo en el centro han dado lugar a **37 artículos en revistas internacionales** con índice de impacto, además de abundantes comunicaciones a congresos y 4 Tesis doctorales.

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 2011 de forma directa, que alcanzan un total de 17 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 2011 de un técnico de apoyo en la modalidad de infraestructuras científico-tecnológicas (especialidad en instalaciones de investigación de acondicionamiento climático y energía solar) que permitirá incrementar las capacidades propias del centro en esta área.

Cabe 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 gran interés de comunicación del centro con la sociedad, y en la que se puede tener acceso, entre otras informaciones, a estos informes anuales.

El co-Director de CIESOL, Dr. Sixto Malato ha sido galardonado con el **Premio Jaime I** de Protección del Medio Ambiente, 2011. <http://www.fvea.es/medioambiente.html>

1. Introduction

On December 16, 2005 CIESOL opened. This report aims to summarize the activities carried out during 2011 and complements the five previous reports (2006-2010) available on the website of the center (<http://www.ciesol.es>, documents section). It should be noted that in the sixth year of operation of the center, which can be considered consolidated, have carried out research in a total of 12 research projects financed by public funds and 4 contracts with companies. In parallel, there has been considerable effort in preparing proposals for new projects in competitive national and international in nature, resulting from the date of this report has been the granting of 3 projects of the National Research Plan .. With regard to scientific output for the annuity of 2011, we must emphasize that the projects carried out in the center have resulted in 37 papers in international journals with impact, as well as numerous conference papers and 4 doctoral theses.

This report also contains an annex information on the Masters in solar energy that is taught in the center and a list of outreach activities and technology transfer developed in which the CIESOL has been involved throughout 2011 in a direct way, reaching A total of x and that there is also a large number of individual contacts and consultations at the Centre by companies and institutions.

To complement this section of transfer activities, in this case to the entire University of Almería, highlighting the center's collaboration with the Vice President for Infrastructure, Campus and Sustainability in the regeneration project using solar wastewater from the nursery University of Almería and the project management and monitoring of the PV grid connection of parking north of campus.

It should be mentioned in this introduction also grant MCINN in the call for 2011 to a support technician in the form of scientific and technological infrastructure (research facilities specializing in climate conditioning and solar energy) which will increase the own capabilities in this area center.

It should be noted the high level of consultation and access to the website CIESOL with self-control (<http://www.ciesol.es/>) which is becoming a way of way of great interest to the center of communication with society, and in which you can access, among other information, these annual reports.

Co-Director of CIESOL, Dr. Sixto Malate. has been awarded the James I of Environmental Protection, 2011. <http://www.fvea.es/medioambiente.html>

2. Actividades en Organometálica y fotoquímica

Principales objetivos

Las actividades científicas están encaminadas al desarrollo de nuevos complejos de rutenio homo y heteronucleares solubles en agua y con actividad fotocatalíticas en procesos de síntesis de moléculas de alto valor añadido.

Main objectives

Scientific activities are focused in development of water soluble ruthenium complexes homo and heteronuclear. They are developed for being applied in photocatalysis for the synthesis of high added value chemicals.

Investigadores principales

Prof. Dr. Antonio Romerosa nació en Granada (España) en 1964. Se graduó en 1987 (Universidad de Granada) y recibió su PhD (Universidad Autónoma de Barcelona) en enero de 1992. En el mismo año realizó una estancia postdoctoral en el antiguo CNR ISSECC, ahora ICCOM CNR, (Florenia, Italia), antes de convertirse en profesor titular (1997) y catedrático (2009) del área de química inorgánica de la Universidad de Almería (España). Sus principales líneas de investigación se dirigen a la catálisis homogénea y química organometálica en el agua, la química del fósforo, la foto-Química Inorgánica, Química Bioinorgánica y piedras naturales. Es autor de más de 100 artículos internacionales, 10 patentes españolas e internacionales y más de 180 presentaciones en congresos nacionales e internacionales. Ha sido responsable de más de 15 proyectos de investigación nacionales, autonómicos y europeos. Es responsable del grupo de la Junta de Andalucía FQM-317.

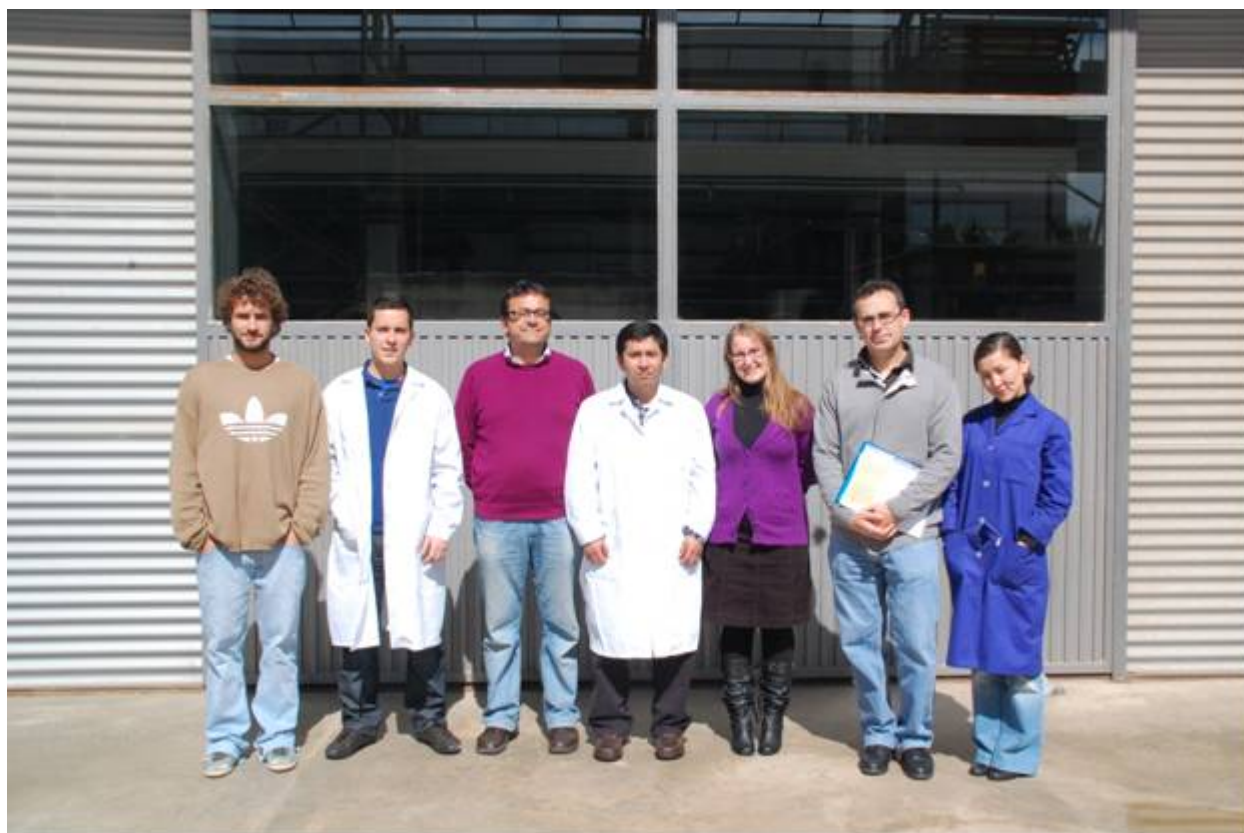
Dr. Christoph Richter. Doctor en Química Física por la Universidad de Colonia en 1993. En 1994 comienza a trabajar en el Departamento que DLR (Centro Aeroespacial de Alemania) tiene en la Plataforma Solar de Almería (PSA-CIEMAT). Inicialmente trabaja como director de proyectos en el área de química solar, en el desarrollo de proyectos sobre las aplicaciones fotoquímicas de la energía solar en la depuración de aguas y en la síntesis química fina. Actualmente trabaja en diferentes aspectos del funcionamiento de las plantas solares térmicas, incluyendo el almacenamiento de calor, refrigeración e impacto ambiental, y es responsable del departamento de administración e infraestructuras de DLR en Almería. Desde marzo de 2008 es el Secretario General de Solar PACES.

Heads of research.

Prof. Dr. Antonio Romerosa was born in Granada (Spain) in 1964. He graduated in 1987 (University of Granada) and received his PhD (Universitat Autònoma de Barcelona) in January 1992. In the same year he undertook a postdoctoral research at the former ISSECC CNR, now ICCOM CNR, (Florence, Italy), before becoming Lecture Professor (1997) and finally Full Professor (2009) at the University of Almeria (Spain). His research interests range over homogeneous catalysis and organometallic chemistry in water, phosphorus chemistry, photo-inorganic-chemistry, bioinorganic chemistry and natural stones. He has authored of more than 100 international refereed papers, 10 Spanish and international patents and made more than 180 presentations at national and international meetings. He has been responsible for more than 15 national research, regional and European projects and the responsible of the Junta de Andalucía research team FQM-317.

Dr. Christoph Richter. Chem-Phys PhD 1993 (Univ. Köln). Since 1994 he works in DLR delegation at Plataforma Solar de Almería (PSA-CIEMAT). His first research activities were focused in solar photochemistry (wastewater treatment by photocatalysis and fine chemicals

synthesis). He is the head of administration and facilities of DLR at Almería, working in solar thermal plants, heat storage, solar cooling and environmental impact assessment. Since 2008 he is the General Secretary of Solar PACES.



Grupo de Organometálica y Fotoquímica de CIESOL

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)

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.

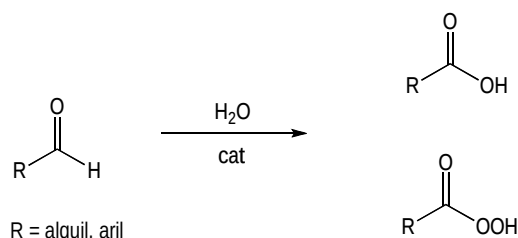


Figura 2.1. Oxidación fotocatalítica de aldehídos terminales.

Resultados durante 2011: Se ha continuado las líneas indicadas en el 2010: a) se ha continuado estudiando la isomerización de alquenoles mediante luz visible a temperatura ambiente y alta temperatura en agua; b) se ha patentado un proceso para oxidar moléculas orgánicas en agua y se ha investigado el mecanismo del mismo; c) se han continuado sintetizando obteniendo nuevos complejos organometálicos que presentan actividad catalítica en fase homogénea tanto con luz como sin la misma.

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 assesment 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.

Rugiada Girotti, Antonio Romerosa, Sonia Mañas, Manuel Serrano-Ruiz, Robin Perutz. Photo-aquation of cis-[RuCl₂(mPTA)₄](CF₃SO₃)₄ in Water (mPTA = N-methyl-1,3,5-triaza-7-phosphaadamantane). *DALTON TRANS.* 2011, 40, 828-836.

Antonio Manuel Romerosa Nievas. Procedimiento y catalizador para la oxidación selectiva de grupos aldehído. **Patente** P2010-00665 (11/05/2010). ES 2371718 A1 (09/01/2012).

New Water Soluble Ruthenium Dimeric Complexes [(PTA)₂CpRu-X-RuCp(PTA)₂]: photochemical and optical properties (PTA= Fosfaadamantane; X=Imidazolate, Pyrazine). Nazira Jadagayeva, Manuel Serrano-Ruiz, Antonio Romerosa. 8th European Workshop on Phosphorus Chemistry, March 28-29, 2011, Münster, Germany. P09. pp 65.

Ruthenium Dimeric Complexes [(PTA)₂CpRu-Y-RuCp(PTA)₂] as building blocks for water soluble hetero-metal polymers. Franco, Scalambra, Nazira Jadagayeva, Manuel Serrano-Ruiz, Antonio Romerosa. 8th European Workshop on Phosphorus Chemistry, March 28-29, 2011, Münster, Germany. P10. pp 66.

Visible light activity of the new water Soluble Ruthenium bimetallic Complex [(PTA)₂CpRu-pyz-RuCp(PTA)₂] (PTA = fosfaadamantane phoshine; pyz = pyrazine). Nazira Jadagayeva, Manuel Serrano-Ruiz, Antonio Romerosa. III Jornadas Ibéricas de Fotoquímica, 4-7

September 2011, Granada, Spain. Pp 171. ISBN: 978-84-96876-90-3; Depósito legal: GR 3036-2011.

2.2. SISTEMAS POLIMETALICOS POLIMERICOS DERIVADOS DE LAS FOSFINAS SOLUBLES EN AGUA PTA Y DMOPTA

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: MEC

Duración prevista: Enero 2011- Diciembre 2013.

Situación: Primer año

Antecedentes: El objetivo del proyecto es la síntesis de nuevos polímeros-heteropolimetálicos solubles en agua, los cuales pueden presentar nuevas propiedades en agua y en estado sólido ya que combinan diversos tipos de átomos metálicos y ligandos en una misma unidad polimérica. Entre las posibles propiedades de estos compuestos destacan su posible actividad frente a la luz solar lo que les permitiría mediar reacciones de síntesis de alto valor añadido, usando como fuente de energía la luz solar.

Objetivos: Se pretende el desarrollo generalizado de nuevos polímeros hetero-polimetálicos solubles en agua.

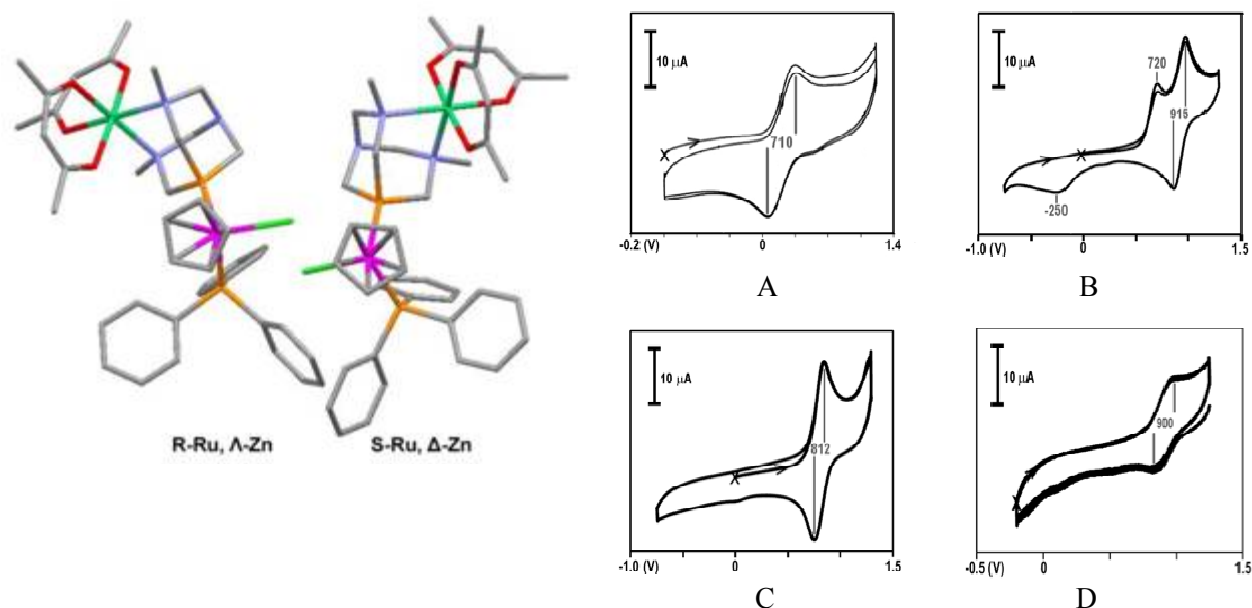


Figura 2.2. Estructura cristalina de los dímeros Ru-Zn y comparación de la voltametría cíclica del monómero de Ru (A) y los dímeros Ru-Co (B), Ru-Ni (C), Ru-Zn (D).

Resultados durante 2011: Se han obtenido nuevas unidades monoméricas complejas que al ensamblarse dan lugar a polímeros 2D y 3D. Una primera publicación expone la síntesis y las propiedades de sistemas diméricos. En estos compuestos existe una 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.

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.

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 $[\text{RUClCp}(\text{PPh}_3)-\mu\text{-dmoPTA-1kP:2k2N,N'-M}(\text{ACAC-k2O,O'})_2]$ ($\text{M} = \text{Co, Ni, Zn}$; $\text{dmoPTA} = 3,7\text{-DIMETHYL-1,3,7-TRIAZA-5-PHOSPHABICYCLO}[3.3.1]\text{NONANE}$). *DALTON TRANS.* 2011, 40, 1312-1318

Water Soluble Heteropolymetallic Complexes Containing PTA (PTA = fosfaadamantane phoshine): Physical and Chemical Properties. Manuel Serrano Ruiz, Antonio Romerosa, Nazira Jadagayeva, Franco Scalambra. Modern state of chemistry and technology of inorganic substances and materials. Almaty, Kazakstan, 20-21th October 2011. КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АЛЬ-ФАРАБИ. ВЕСТНИК СЕРИЯ ХИМИЧЕСКАЯ. АЛМАТЫ, № 3(63), 2011. (al-Farabi Kazakh National University. BULLETIN SERIES CHEMICAL. № 3 (63) 2011 (London). ISSN1563-0331, Depósito Legal: 75879;25879. Pg. 94. A. Romerosa Plenary Lecture.

A comparative study of the anticancer activity of the hetero-metallic complexes $\{[(\text{PTA})_2\text{CpRuDMSO}]-\mu\text{-AgCl}_2\}_n$ and $[(\text{PTA})_2\text{CpRuDMSO}][\text{AgCl}_2]$. Manuel Serrano-Ruiz, Antonio Romerosa, Leticia G. León, José M. Padrón. International Symposium on Applied Bioinorganic Chemistry-11-ISABC. 2-5 December 2011, Barcelona, Spain. P51.

$\{[(\text{PTA})_2\text{CpRu}-\mu\text{-CN-RuCp}(\text{PTA})_2]-\mu\text{-CoCl}_3\}_n$: A New Member for the Family of Water Soluble Hetero-Metallic Polymeric Complexes. Franco, Scalambra, Nazira Jadagayeva, Manuel Serrano-Ruiz, Antonio Romerosa. VIII Simposio Investigadores Jóvenes, RSEQ-Sigma-Aldrich. 25-28 de octubre de 2011, Torremolinos, Málaga, CONFERENCIA, CHARLA 35.

3. Actividades en Tratamiento de Aguas

Principales objetivos

Aplicación de la fotocatalisis solar para la eliminación de sustancias tóxicas y la desinfección de aguas, así como su combinación con métodos biológicos avanzados. Las líneas estratégicas de actuación son:

- ✓ Aplicación de foto-Fenton solar a la descontaminación de aguas tóxicas
- ✓ Aplicación de foto-Fenton solar a la desinfección de aguas depuradas (regeneración)
- ✓ Combinación de foto-Fenton solar con reactores biológicos de membrana (pre- y post-tratamiento)
- ✓ Optimización de la operación y desarrollo de nueva tecnología para foto-Fenton
- ✓ Economía del agua

Main objectives

Application of solar photocatalysis for the removal of toxic substances and disinfection of water and its combination with advanced biological methods. The strategic lines of action:

- ✓ *Use of solar photo-Fenton for decontamination of toxic water*
- ✓ *Use of solar photo-Fenton for wastewater disinfection*
- ✓ *Combination of solar photo-Fenton and membrane bioreactor (pre-and post-treatment)*
- ✓ *Optimization of the operation and development of new technology for photo-Fenton*
- ✓ *Water economics*

Investigadores principales

Prof. Dr. José Antonio Sánchez Pérez. Catedrático de Universidad. Departamento de Ingeniería Química. Químico Industrial (1988) y Doctor en Ciencias Químicas (1992) por la Universidad de Granada. Investigador responsable del grupo “Ingeniería de bioprocesos y tecnologías del agua” del Plan Andaluz de Investigación. Ha participado en trece proyectos de I+D de ámbito nacional e internacional, liderando seis de ellos, así como en una docena de contratos con empresas. Ha dirigido diez tesis doctorales en distintos campos como la biotecnología de microalgas, la fermentación de hongos filamentosos y el tratamiento de aguas. Coautor de tres patentes y cerca de ochenta publicaciones científicas en revistas internacionales, entre las que destaca en los dos últimos años: *Catalysis Today*. 151 (1-2): 100-106 (2010); *Chemical Engineering Journal*. 160: 447-456 (2010); *Applied Catalysis B: Environmental*. 97: 292-298 (2010); *Science of the Total Environment*. 409: 4141-4166 (2011); *Journal of Hazardous Materials*. 186:1924-1929 (2011); *Applied Catalysis B: Environmental*. 104 (3-4): 316-323 (2011). Dr. Christoph Richter.

Dr. Manuel Ignacio Maldonado Rubio. Doctor en Ciencias Químicas por la Universidad de Almería (2001). Licenciado C. Químicas (Ing. Química) por la Universidad de Granada (1994). Master en Ciencias Medioambientales por el Instituto de Investigaciones Ecológicas (Málaga, 1999). Desde 2002 es investigador en el Área de Aplicaciones Medioambientales de la Energía Solar en la Plataforma Solar de Almería (CIEMAT). Su labor científica ha estado fundamentalmente centrada en Proyectos de I+D relacionados con la descontaminación de aguas mediante procesos de oxidación avanzada. Ha participado (participa) como investigador en 8 Proyectos Nacionales, 11 Proyectos Internacionales (IV, V y VI European Union Framework Programmes) y 4 Contratos de Investigación con Empresas relacionados con el desarrollo de

Tecnologías Solares para el tratamiento de aguas residuales industriales y desalación. Autor de 3 libros en Editorial Nacional y co-autor de 9 libros en Editorial Internacional, co-autor de 71 publicaciones en revistas científicas internacionales con índice de impacto, más de 90 contribuciones a Congresos y Simposiums internacionales y diversas contribuciones a congresos nacionales.

Heads of research.

José Antonio Sánchez Pérez. *Full Professor. Department of Chemical Engineering. Degree in Chemical Engineering by Univ. of Granada (1988); PhD by the Univ. of Granada (1992). Head of the group “Bioprocess Engineering and water technologies”. He has involved in 13 research projects (European and Spanish projects) and has led 6 of them. 12 Research contracts with private companies most of them related with the development of Solar Technologies applied to wastewater treatment. He has directed ten PhD theses in different fields such as biotechnology of microalgae, filamentous fungi fermentation and water treatment. Scientific production summary: 80 peer-reviewed international publications. Highlighted papers in the last two years: Catalysis Today. 151 (1-2): 100-106 (2010); Chemical Engineering Journal. 160: 447-456 (2010); Applied Catalysis B: Environmental. 97: 292–298 (2010); Science of the Total Environment. 409: 4141-4166 (2011); Journal of Hazardous Materials. 186:1924-1929 (2011); Applied Catalysis B: Environmental. 104 (3-4): 316-323 (2011).*

Dr. Manuel Ignacio Maldonado Rubio. *Degree in Chemistry by Univ. of Granada (1994); PhD by the Univ. of Almería (2001). Master in Environmental Sciences by the Instituto de Investigaciones Ecológicas (Málaga, 1999). Working for CIEMAT since 2002. Scientific production summary: 71 paper-reviewed international publications, co-author of 3 books as well as 9 chapters in others, 90 communications to international congresses and 4 communications to national congresses. He has involved in 11 European Union research projects (4th, 5th and 6th Framework Programmes), 8 National research projects and 4 R&D Contracts with private companies related with the development of Solar Technologies applied to wastewater treatment.*



Grupo de Depuración de Aguas Mediante Tecnologías Emergentes de CIESOL

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); S. Malato, sixto.malato@psa.es

Fuente de financiación: Junta de Andalucía, Proyecto de Excelencia. RNM-3772

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.

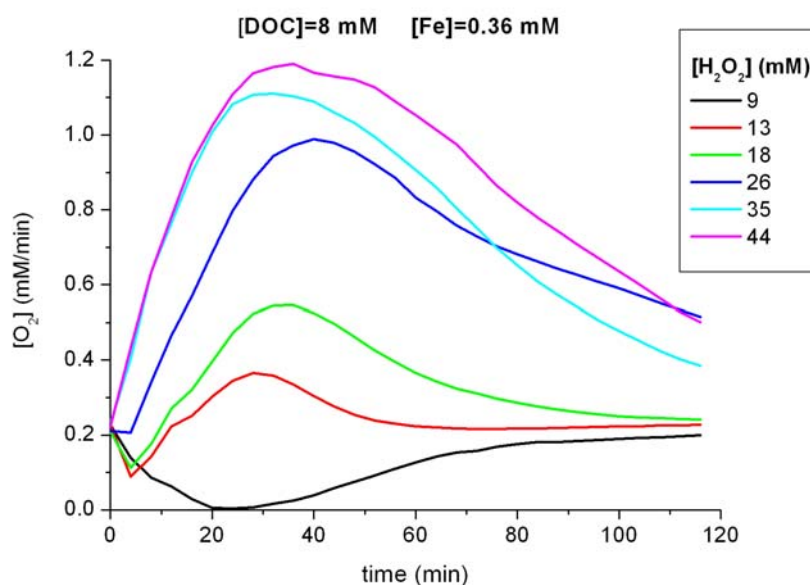


Figura 3.1. Evolución de oxígeno disuelto durante tratamiento mediante foto-Fenton de paracetamol a diferentes dosis iniciales de peróxido de hidrógeno.

Resultados durante 2011: Se ha estudiado el efecto de la concentración de hierro (0,09 a 0,45 mM), la irradiación (13 a 87 W/m²) y la concentración de peróxido de hidrógeno (9 a 45 mM) sobre la mineralización de la materia orgánica (variando la concentración de COD de 4 a 25 mM) y el consumo de peróxido de hidrógeno en el proceso de foto-Fenton. Se ha usado paracetamol como contaminante modelo y la mineralización del carbono orgánico disuelto (COD) como objetivo prioritario para estudiar la relación entre la velocidad de mineralización, la velocidad de reacción de H_2O_2 y la velocidad de generación de oxígeno. Se ha encontrado que la variación en la concentración de oxígeno disuelto durante la reacción es un indicador del uso eficaz del peróxido de hidrógeno. Un aumento en la concentración de oxígeno es señal de descomposición del peróxido de hidrógeno sin reaccionar con la materia orgánica, y por lo tanto, un uso ineficiente de éste. En consecuencia, se propone el control de la concentración de oxígeno disuelto como una herramienta para la dosificación correcta en continuo de peróxido de hidrógeno.

Asimismo, se ha estudiado el efecto del grado de mineralización mediante foto-Fenton en la descontaminación de aguas muy tóxicas en el proceso combinado foto-Fenton/MBR. Para ello, se ha utilizado una mezcla de cinco plaguicidas comerciales a una concentración de 500 mg L⁻¹ expresada como COD. En estudios previos, se estableció un 57% de mineralización como la mínima para proseguir el tratamiento mediante un biorreactor de fangos activos operado en modo discontinuo secuencial; y el 40% de mineralización para la eliminación de los plaguicidas. Mediante el uso de la tecnología de membranas (MBR), se ha podido combinar fotocátalisis (hasta solo el 40% de mineralización) y biológico con una eficacia final del 97% de eliminación de COD y una reducción del 25% del coste del proceso integrado.

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.*

Using Paracetamol as a model pollutant and dissolved organic carbon (DOC) removal as the priority objective, we have studied the effects of irradiance intensity (13 to 87 W/m²), iron concentration (0.09 to 0.45 mM), hydrogen peroxide concentration (9 to 45 mM) and finally DOC concentration (4 to 25 mM) on the relationship between the mineralization rate, the H₂O₂ reaction rate and the oxygen generation rate. The variation in dissolved oxygen concentration related to changes in operating conditions has been considered as an indicator for the efficient use of hydrogen peroxide. An increase in oxygen concentration during the photo-Fenton reaction is a signal of hydrogen peroxide decomposition, without reacting with organic matter and therefore an inefficient use of the reactant. Monitoring the dissolved oxygen concentration is proposed as a tool for correct continuous dosage of hydrogen peroxide.

We have studied the effect of the degree of mineralization by photo-Fenton in the decontamination of highly toxic waters using the combined process foto-Fenton/MBR. To do this, we used a mixture of five commercial pesticides at a concentration of 500 mg L⁻¹ expressed as DOC. In previous studies, we established a 57% mineralization as the minimum value to continue the treatment by activated sludge bioreactor operated in sequential batch mode, and 40% mineralization for the complete removal of pesticides. By using membrane technology (MBR), photocatalysis (up to only 40% mineralization) and biological oxidation has been combined with a 97% final efficiency of DOC removal and a reduction of 25% of the cost of the integrated process.

Publicaciones.

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*. 38(9): 1171-1178 (2011)

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*. 186:1924-1929 (2011)

L. Santos-Juanes Jordá, J. L. García Sánchez, J. L. Casas López, I. Oller, S. Malato, J. A. Sánchez Pérez. Dissolved oxygen concentration: a key parameter in monitoring the photo-Fenton process. *Applied Catalysis B: Environmental*. 104 (3-4): 316-323 (2011)

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

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); Grupo de Inv. “Residuos de plaguicidas” (CIESOL, Univ. de Almería).

Contactos: J. A. Sánchez (jsanchez@ual.es); M. I. Maldonado (mignacio.maldonado@psa.es); A. Agüera (aaguera@ual.es)

Fuente de financiación: Ministerio de Economía y Competitividad. CTQ2010-20740-C03-01
Duración prevista: Enero 2011 – Diciembre 2013.

Situación: En curso.

Antecedentes: La reutilización de aguas residuales requiere de tratamientos físico-químicos de afino que devuelvan al agua una calidad adecuada al destino previsto. El objetivo general del proyecto consiste en 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). En este sentido, debe prestarse atención tanto a la desinfección de las aguas depuradas procedentes de procesos secundarios (biológicos, fundamentalmente fangos activos), como a la eliminación de contaminantes persistentes no degradados en los procesos convencionales y que, por tanto, no salen del ciclo de reutilización del agua y se acumulan en el medio ambiente.

Objetivos: Los objetivos concretos del proyecto coordinado, que derivan de las sinergias entre los tres subproyectos, son:

1. Estudiar diferentes tratamientos basados en el uso de la radiación solar para la regeneración del efluente de una depuración biológica.
2. Estudiar la cinética de foto-degradación de contaminantes orgánicos presentes en las aguas depuradas.
3. Estudiar la cinética de desinfección de las aguas depuradas.
4. Analizar el efecto de la depuración biológica en la etapa posterior de acondicionamiento del agua para su reutilización (tecnología empleada, grado de depuración logrado).
5. Desarrollar y aplicar métodos analíticos basados en espectrometría de masas que permitan una adecuada evaluación de las aguas antes y después de los tratamientos.
6. Evaluar los procesos de regeneración propuestos desde el punto de vista económico, de aseguramiento de la calidad y de viabilidad para su aplicación agronómica.

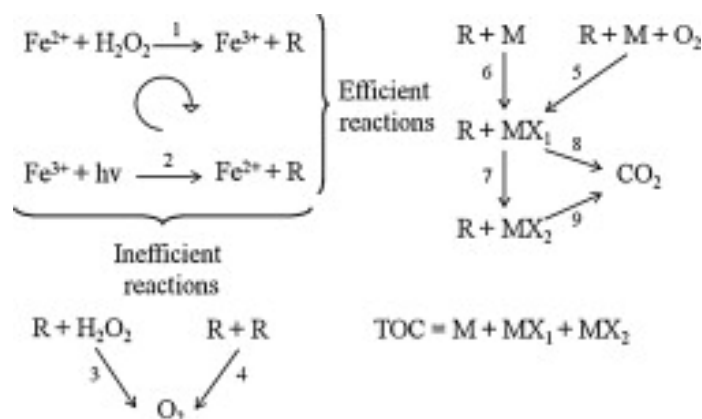


Figura 3.2. Principales reacciones del proceso de foto-Fenton utilizada en modelo cinético desarrollado en FOTOREG.

Resultados durante 2011: Se ha trabajado en tres ámbitos, las cinéticas de descontaminación y desinfección mediante foto-Fenton de forma individual, y en el análisis de la legislación sobre vertidos de aguas residuales y su impacto en el desarrollo tecnológico.

Con respecto al primero, se ha propuesto un modelo cinético basado en variables globales y fraccionamiento del TOC para realizar un seguimiento de la degradación de paracetamol, como un contaminante modelo, utilizando el proceso de foto-Fenton. La estructura propuesta se muestra aceptable para la predicción del consumo de peróxido de hidrógeno, la mineralización del TOC y la evolución del oxígeno disuelto. El número de parámetros del modelo se considera asumible en la calibración de la degradación de otros contaminantes mediante esta tecnología. Este estudio abarca una amplia carga de materia orgánica entre, 4 y 25 mM de TOC. La concentración inicial de Fe^{2+} varió entre 0,089 y 0,44 mM, mientras que la concentración de H_2O_2 fue de 9 a 45 mM. La influencia de la intensidad de la luz se consideró explícitamente en el modelo mientras que la temperatura y el pH se mantienen constantes. El modelo contiene 9 parámetros cinéticos y 3 coeficientes estequiométricos, y se ha aplicado también a una mezcla de plaguicidas con una buena predicción del consumo de peróxido de hidrógeno y de los perfiles de TOC.

Para la desinfección de agua residual, el proceso de foto-Fenton es una alternativa prometedora, aunque la información al respecto es escasa. Se ha estudiado el efecto de la temperatura (10, 20, 30 y 40 °C) en la desinfección del agua mediante la reacción de foto-Fenton a pH neutro con resorcinol como un modelo de materia orgánica natural (NOM). Para ello, se seleccionó *Enterococcus faecalis*, un microorganismo gram-positivo, como indicador de contaminación fecal de las aguas residuales. Se han considerado los efectos individuales de las diferentes variables que intervienen en este proceso (estrés mecánico, radiación UVA, H_2O_2 , combinación UVA/ H_2O_2 y UVA/ $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$). La aplicación de radiación UVA y H_2O_2 individualmente, dio lugar a una disminución de 2,5-log en la supervivencia de las bacterias mientras que con el efecto combinado de ambas variables se alcanza el límite de detección para el mismo tiempo de tratamiento. Mediante la adición de 10 mg L⁻¹ de Fe^{2+} , el tiempo de inactivación se redujo de 120 minutos ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{UVA}$) a 80 min ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{UVA}/\text{Fe}^{2+}$; foto-Fenton) con 120 mg L⁻¹ de H_2O_2 . El efecto de la temperatura en la constante cinética de desinfección mediante foto-Fenton puede ajustarse a una función tipo Arrhenius. El límite de detección no se alcanzó a 10 °C y, para alcanzar el límite de detección a 20, 30 y 40 °C, fueron necesarios 80, 65 y 40 minutos, respectivamente. La disminución en el tiempo de tratamiento es un factor clave en la aplicación del proceso de desinfección mediante foto-Fenton a una planta de tratamiento de aguas residuales.

Con respecto a los aspectos económicos del proyecto y dada la participación de Cítricos del Andarax, nos centramos en la industria agroalimentaria. En este sentido, la gestión adecuada del agua depende, en gran medida, de los incentivos económicos regulados por la legislación. Se ha analizado la influencia del coste del agua y de los impuestos sobre vertidos de aguas residuales, como factores que pueden incentivar la implantación de sistemas tratamiento de aguas residuales en la industria alimentaria. En España, el vertido de aguas residuales está regulado por dos impuestos diferentes: los vertidos en el Dominio Público Hidráulico (DPH) se regulan a nivel nacional por Canon de Control de Vertidos, mientras que los realizados en la red de alcantarillado están reguladas a nivel local por el canon de Saneamiento. En consecuencia, para este último existen grandes diferencias en la regulación y en los costes. Se han examinado los parámetros de contaminación considerados en los distintos cánones así como el coste del tributo aplicado a un agua residual modelo del sector agroalimentario. Los resultados muestran que un solo análisis del caso no es suficiente, por lo tanto, se ha realizado un análisis de sensibilidad. Con el objetivo de comparar los resultados con otros países europeos, los cánones de Caserta (Italia) y Bruselas (Bélgica) también se han analizado. En ningún caso el importe del impuesto

debe ser menor que el coste del tratamiento y el diseño del canon de saneamiento debe basarse en el precio del tratamiento y en los beneficios ambientales derivados de la eliminación de la contaminación, con especial atención, en particular, a sustancias tóxicas. El objetivo de este estudio es determinar el papel del canon de saneamiento como una herramienta para fomentar el tratamiento de aguas residuales industriales.

Abstract. *The reuse of wastewater requires physical and chemical treatments that returned to the water adequate quality to the intended destination. 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.*

The specific objectives of the coordinated project, which derive from the synergies between the three sub-projects, are:

- 1. Explore different treatments based on the use of solar radiation for wastewater reclamation.*
- 2. Consider the kinetics of photo-degradation of recalcitrant pollutants present in the treated waters.*
- 3. Consider the kinetics of disinfection of treated water.*
- 4. Analysis of the effect of the biological treatment on the further photocatalytical treatment for water re-use (technology employed, treated water quality).*
- 5. Developing and applying mass spectrometry analytical methods for an adequate assessment of wastewater treatment.*
- 6. Processes assessment from economic and quality assurance point of view and reuse for agricultural purposes.*

A kinetics model with lumped components and TOC fractionation is proposed to track paracetamol degradation, as a model pollutant, using the photo-Fenton process. The proposed structure shows acceptable predictive capabilities regarding hydrogen peroxide consumption, TOC mineralization and dissolved oxygen evolution. The number of model parameters is considered assumable in calibrating other pollutants and degradation mixtures when applying this technology. This study covers a pollutant load range between 4 and 25 mM of TOC. The Fe^{2+} initial load varied between 0.089 and 0.44 mM whilst the initial H_2O_2 concentration tested ranged from 9 mM to 45 mM. The influence of light intensity was considered explicitly within the model whilst temperature and pH conditions were held constant. The fixed structure model, containing 9 kinetic parameters and 3 stoichiometric coefficients, was later applied to a pollutant mixture with a successful prediction of hydrogen peroxide and TOC profiles.

With regard to wastewater disinfection treatments, the photo-Fenton process is a promising alternative, although information in this regard is scarce. The effect of temperature (10, 20, 30 and 40 °C) was studied on water disinfection using the photo-Fenton reaction at near neutral pH with resorcinol as a model of natural organic matter (NOM). Enterococcus faecalis, a Gram-positive microorganism, was selected as an indicator of wastewater faecal contamination. The individual effects of different variables involved in this process (mechanical stress, UVA, H_2O_2 , UVA/ H_2O_2 and UVA/ $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$) were determined. UVA and H_2O_2 led to a 2.5-log decrease individually and the combined effect of both variables managed to disinfect up to the detection limit (i.e. from a 5.5 to a 6-log reduction) over the same treatment time. Only by adding 10 mg L^{-1} of Fe^{2+} , the inactivation time was reduced from 120 min ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{UVA}$) to 80 min

(H₂O₂/UVA/Fe²⁺; photo-Fenton) with 120 mg L⁻¹ of H₂O₂. A higher disinfection result for *E. faecalis* was observed by increasing temperature according to the Arrhenius equation in the photo-Fenton process. The detection limit was not reached at 10 °C and, to achieve the detection limit at 20, 30 and 40 °C, 80, 65 and 40 min were needed, respectively. The decrease in treatment time is a key factor in applying the photo-Fenton disinfection process to a wastewater treatment plant.

Finally, proper management of water in the food industry will depend, to a large extent, on economic incentives regulated by legislation. The influence of water cost and wastewater discharge taxes is analyzed, as factors that encourage the implementation of water recycling systems and wastewater treatments within the food industry. In Spain, wastewater discharge is regulated by two different taxes: discharges into the Hydraulic Public Domain (HPD) are controlled nationwide by the Waste Control Tax (WCT), while discharges made into the sewer network are regulated locally by the Sanitary Tax (ST). Consequently, for the latter, regulation and cost differences exist. In this paper, Spanish STs that consider pollution parameters for industrial wastewater (IWW) discharges are studied. Firstly, pollution parameters are examined, followed by a study of the ST cost resulting from the application of an agro-food IWW model. Results show that one case analysis is not enough; thus, a sensitivity analysis is made. With the aim of comparing the results with other European cases, STs from Caserta (Italy) and Brussels (Belgium) are also analyzed. In no case should the tax amount be lower than the treatment cost and the design of the sanitary tax should, indeed, be based on treatment cost and the environmental benefits resulting from pollution removal, with special attention, in particular, to toxic substances. The aim of this study is to determine the role of ST as a tool in encouraging IWW treatment.

Publicaciones.

I. M. Román Sánchez, J. M. Molina Ruiz, J. L. Casas López, J. A. Sánchez Pérez. Effect of environmental regulation on the profitability of sustainable water use in the agro-food industry. *Desalination*. 279: 252–257 (2011).

J.A. Sánchez, I. M. Román Sánchez. La industria agroalimentaria y el agua. Incidencia de los tributos ambientales en su uso sostenible. *Proyectos Químicos*. 1204: 50-54 (2011).

3.3. COMBINACIÓN DE TECNOLOGÍAS INTENSIVAS PARA LA MEJORA DE LA CALIDAD DE LOS EFLUENTES ACUOSOS EN PYMES. DISEÑO DE UN PROCESO INTEGRADO (AQUAPYME)

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. L. Casas (jlucasas@ual.es); S. Malato, sixto.malato@psa.es

Fuente de financiación: Junta de Andalucía, Proyecto de Excelencia. **P10-RNM-5951**

Duración prevista: 6 de Julio de 2011 – 5 de Julio de 2015.

Situación: En curso.

Antecedentes: Existen actualmente nuevas tecnologías para la regeneración de aguas residuales que devuelven al agua la calidad adecuada al destino previsto (según RD 1620/2007), sin embargo, 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 del riesgo ambiental que facilite su implementación. Además, es también necesario, para garantizar la

calidad de las aguas regeneradas, evaluar estos tratamientos, incluyendo el estudio del riesgo potencial asociado a la reutilización del agua tratada.

Objetivos: El objetivo general del proyecto consiste en estudiar la combinación de tecnologías intensivas sostenibles para la mejora de la calidad de los efluentes acuosos en PYMES. Para tal fin se diseñará un nuevo proceso integrado basado en el uso de reactores de membrana anóxicos y fotocátalisis solar para la regeneración de aguas residuales industriales de PYMES que permita su reutilización según RD 1620/2007. En este sentido, debe prestarse atención tanto a la desinfección de las aguas depuradas como a la eliminación de contaminantes persistentes. Así mismo, también se llevará a cabo la aplicación de ultrasonidos para minimizar la producción de fangos.

Los objetivos concretos del proyecto son:

1. Evaluar la combinación de diferentes tecnologías intensivas sostenibles basadas en el uso de membranas y fotocátalisis solar para el tratamiento de efluentes de PYMES.
2. Estudiar la eliminación de nutrientes de efluentes de EDARI de PYMES mediante biorreactores anóxicos de membrana.
3. Integrar tratamientos basados en ultrasonidos para minimizar la generación de fangos en biorreactores de membrana.
4. Evaluar los procesos propuestos desde el punto de vista económico y de aseguramiento de la calidad.

Resultados durante 2011: La fecha oficial de inicio del proyecto AQUAPYME fué el 6 de Julio de 2011. A pesar de ello no se ha dispuesto de crédito para su ejecución hasta el 20 de febrero del presente año 2012, fecha en la que la Gerencia de la Universidad de Almería abrió el centro de gastos del proyecto ingresando la primera anualidad. Asimismo la incorporación del becario predoctoral asociado al proyecto se llevó a cabo el pasado 1 de febrero de 2012, 8 meses después de la fecha de inicio del proyecto, siendo Dña. Irene Carra Ruiz la persona que finalmente ha conseguido dicha beca predoctoral. Debido a estos contratiempos, la ejecución del proyecto acumula unos seis meses de retraso, no pudiéndose presentar resultados correspondientes al año 2011. Actualmente se está desarrollando la tarea 101 correspondiente a la caracterización de las aguas residuales de Cítricos del Andarax.

Abstract. *Currently, there are new technologies for water reuse that return to water the quality appropriate to the intended destination (according to RD 1620/2007), however, the high costs and the different problems in their application indicating the need for further research on taking into account the minimization of energy cost and environmental risk to facilitate their implementation. Furthermore, it is also necessary to ensure the quality of reclaimed water, evaluate these treatments, including the study of potential risk associated with the reuse of treated water.*

The overall project objective is to study the combination of intensive sustainable technologies to improve the quality of water effluents in SMEs. To this end, a new integrated process design based on the use of anoxic membrane bioreactors and solar photocatalysis for the regeneration of industrial wastewater reuse permitting SMEs according to RD 1620/2007. In this regard, attention should be paid both to the disinfection of treated water to the elimination of persistent pollutants. Likewise, also be carried out the application of ultrasound to minimize the production of sludge. The specific objectives of the project are:

1. *Evaluate the combination of different technologies based on sustainable intensive use of membranes and solar photocatalysis for the treatment of effluents from SMEs.*
2. *Studying nutrient removal effluent IWWTP of SMEs through anoxic membrane bioreactor.*
3. *Integrate ultrasound-based treatments to minimize the generation of sludge in membrane bioreactors.*
4. *Assess the processes proposed from the standpoint of economic and quality assurance.*

The official start date AQUAPYME project was the 6th July, 2011. However it is not given credit for their execution until 20th February 2012, in which the management of the University of Almeria opened the project cost center by entering the first installment. Likewise the incorporation of the PhD student associated with the project took place last 1st February 2012, 8 months after the project start date, being Ms. Irene Carra Ruiz the person who finally got this predoctoral fellowship. Because of these setbacks, the project builds about six months late, not being able to present results for the year 2011. Currently, the task 101 about the characterization of wastewater from Cítricos del Andarax is being developed.

3.4. 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 2011: Declarados confidenciales

3.5. 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 2011: Se ha instalado un MBR (reactor biológico de membrana) de 1 m³ al día de capacidad de tratamiento que opera en continuo y se ha diseñado y construido un reactor para foto-Fenton para su combinación como postratamiento con el MBR a fin de obtener aguas regeneradas para riego de jardines.



Figura 3.3. MBR instalado para regenerar agua procedente de guardería de la UAL.

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 has been installed.

3.6. OTROS

Durante 2011 se ha participado en la elaboración y presentación de tres propuestas de proyectos de investigación. En el programa FEDER-INNTERCONECTA (Orden CIN/1729/2011) se ha participado en la solicitud del proyecto “Investigación y desarrollo de nuevos tratamientos para la mejora de la calidad de agua ácidas de minería” con el contrato “Optimización del proceso de tratamiento de aguas ácidas mediante membranas (ósmosis inversa)” con las empresas SADYT y CABAL, que ha sido concedido recientemente.

During 2011 we participated in the preparation and submission of three research project proposals. We have participated in the application of the proposal entitled "Research and development of new treatments to improve the quality of acid mine water " through the contract entitled " Acidic water treatment process optimization by membranes (reverse osmosis)" with the companies SADYT and CABAL. This project has been granted recently.

4. Actividades en Modelado y Control Automático

Principales objetivos

- ✓ Modelado y control de plantas e instalaciones termosolares.
- ✓ Modelado, control y robótica en agricultura.
- ✓ Eficiencia energética y control de confort en edificios. (en el marco del proyecto ARFRISOL).
- ✓ Educación en Ingeniería.
- ✓ Modelado y control de fotobioreactores.
- ✓ Vehículos eléctricos.
- ✓ Control predictivo y robusto.
- ✓ Sistemas de supervisión y comunicaciones industriales.

Main objectives

- ✓ *Modelling and control of thermosolar plants and installations.*
- ✓ *Modelling, control and robotics in agriculture.*
- ✓ *Energy efficiency and comfort control in buildings (under the framework of ARFRISOL project).*
- ✓ *Engineering Education.*
- ✓ *Modelling and control of photobioreactors.*
- ✓ *Electric vehicles.*
- ✓ *Predictive and robust control.*
- ✓ *Supervisory systems and industrial communications.*

Investigadores principales

Prof. Manuel Berenguel Soria es catedrático del área de Ingeniería de Sistemas y Automática de la Universidad de Almería. Es Ingeniero Industrial (número 2 de la XXI promoción) y Dr. Ingeniero Industrial por la Universidad de Sevilla, donde recibió el Premio Extraordinario de Doctorado. Ha impartido docencia en 5 titulaciones (16 asignaturas) y en 7 programas de doctorado. Es investigador responsable del grupo Automática, Electrónica y Robótica de la Universidad de Almería (UAL), perteneciente al Plan Andaluz de Investigación (código TEP-197). Ha dirigido y co-dirigido 8 tesis doctorales. Ha liderado 7 proyectos de investigación y ha participado en 30. Es co-autor de 2 libros internacionales, 7 libros nacionales, 3 capítulos de libros internacionales, 3 capítulos de libros nacionales, 90 revistas internacionales y 8 nacionales, 125 artículos en congresos internacionales, 45 en congresos nacionales y 2 patentes. Ha sido miembro de la Junta Directiva del Comité Español de Automática (CEA) desde enero de 2003 a septiembre de 2008 y miembro de la IEEE Control System Society desde el año 2000. Es miembro del Technical Committee of International Federation of Automatic Control (IFAC) TC 8.01 Control in Agriculture, del IFAC Technical Committee 6.3 on Power and Energy Systems.

Dr. Luis José Yebra Muñoz nació en Almería (España) en 1971. Recibió el título de Ingeniero Técnico de Telecomunicación en 1993 por la Universidad de Alcalá de Henares (Madrid) y el título de Licenciado en Física por la UNED en 1997. En mayo de 2006 alcanzó el grado de Doctor en Ingeniería Informática por la UNED, dentro del programa de doctorado en Informática

y Automática. Es co-autor de 3 libros, 15 artículos en revistas internacionales, más de 25 artículos en congresos internacionales y ha participado en más de 15 proyectos de investigación.

Heads of research.

Prof. Manuel Berenguel Soria was born in Almería, Spain, in 1968. He received the industrial engineering and Ph.D. (extraordinary doctorate award) degrees from the University of Seville, Seville, Spain. He is Full Professor of automatic control and systems engineering with the University of Almería, Almería, Spain. He is the head of the research group Automatic Control, Electronics, and Robotics, University of Almería. His research interests include control education and in predictive and hierarchical control, with applications to solar energy systems, agriculture, and biotechnology. He has authored and coauthored over 200 technical papers in international journals and conferences. Prof. Berenuel has been member of the board of Governors of the Spanish Association in Automatic Control from 2003 to 2008, member of IEEE Control System Society from 2000, and a member of the IFAC Technical Committee TC 8.01 Control in Agriculture and 6.3 Power Energy Systems.

Dr. Luis José Yebra was born in Almería, Spain, in 1971. He received the telecommunications technical engineering degree from Universidad de Alcalá de Henares, Madrid, Spain, in 1993, and the physics degree and the Ph.D. degree in computer science engineering from the Spanish National Distance Education (UNED), Madrid, Spain, in 1997 and 2006, respectively. He has authored 3 books, 15 scientific articles published in international journals, over 25 conference proceedings papers, and participated as a researcher in more than 15 research projects.



Grupo de Modelado y Control de CIESOL

4.1. ESTRATEGIAS DE CONTROL NO LINEAL CON COMPENSACIÓN DE RETARDO EN PLANTAS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA SOLAR.

Participantes: Grupo de Inv. “Automática, Electrónica y Robótica” de la UAL y Departamento de Automática de la Universidad Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil.

Contactos: M. Berenguel (beren@ual.es); Julio Normey, julio@das.ufsc.br

Fuente de financiación: MEC – PHB2009-0008-PC. Proyecto de cooperación bilateral

Duración prevista: Enero 2007 – Diciembre 2013.

Situación: Se ha concedido la renovación por dos años más.

Antecedentes: proyecto de cooperación bilateral. Surge como continuación de actividades que se realizaron dentro de una red Alfa en 1998.

Objetivos: Este proyecto tiene por objetivos el estudio y proyecto de los sistemas de control en plantas de generación de energía renovable, principalmente energía solar térmica y fotovoltaica. Estas plantas de generación de energía son sistemas dinámicos complejos caracterizados principalmente por no linealidades, acoplamientos e importantes retardos, y exigen la utilización de estrategias de control complejas cuando se desea alcanzar altos rendimientos. De esta forma los objetivos particulares del proyecto son los siguientes:

- 1) Análisis, modelado y simulación de las diversas plantas disponibles por parte de los grupos de investigación.
- 2) Desarrollo de algoritmos de control mono y multivariable para sistemas no lineales con retardo. Se estudiarán algoritmos basados en compensadores de tiempo muerto y control predictivo basado en modelo. Se realizarán estudios de estabilidad local y global.
- 3) Implementación y prueba experimentales de los algoritmos de control propuestos en las plantas reales disponibles en las universidades participantes.
- 4) Análisis del impacto económico alcanzable por el uso de las técnicas de control propuestas en las diferentes plantas. Estudio de posibles mejoras en los procesos y viabilidad para su posterior transferencia tecnológica al sector industrial.
- 5) Para los sistemas fotovoltaicos, se estudiará el problema de conversión de la energía generada y de conexión de las diferentes unidades de generación de energía renovable al sistema de distribución de energía eléctrica existente en cada país.

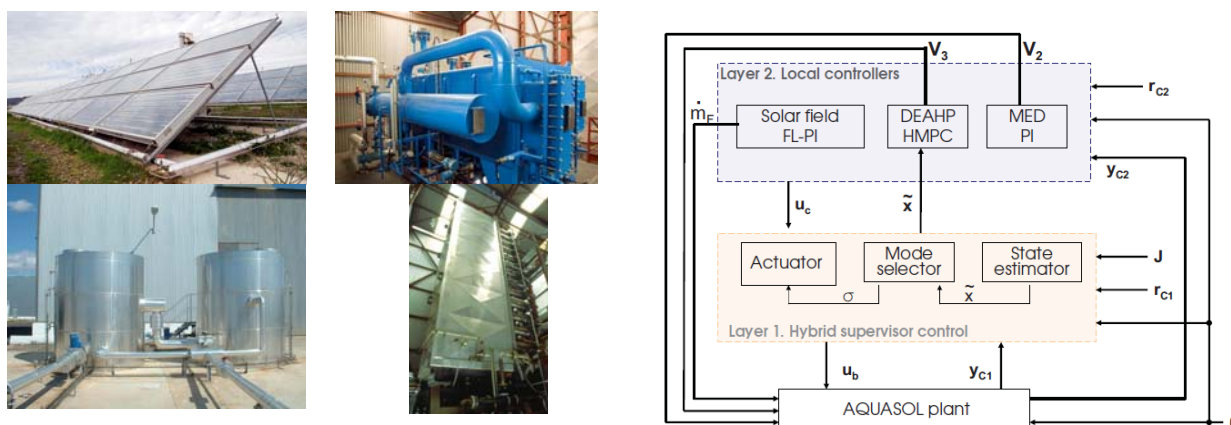


Figura 4.1. Proyecto MEC (desaladora solar)

Resultados durante 2011: Se han realizado todas las misiones de profesores, doctores e estudiantes inicialmente programadas, se están dirigiendo varias tesis en colaboración (7 tesis), se han escrito un gran número de artículos (6 publicados en revistas internacionales con índice de impacto, 6 publicados y 4 aceptados en congresos internacionales, 3 enviados a revista y 1 enviado a congreso) y se realizaron estudios experimentales en plantas de laboratorio y plantas industriales. Además, con recursos de otros proyectos y ayudas, se aumentó la participación de profesores e investigadores de los grupos en las actividades del proyecto.

Abstract. *The main objective of this project is the collaboration and exchange of researchers from University of Almería and Universidad Federal de Santa Catarina (Brasil) in the framework of control of renewable energy systems, mainly focused to solar thermal and photovoltaics. These are complex systems characterized by nonlinearities, coupling and delays, requiring the use of advanced control techniques to achieve high performance..*

Publicaciones.

Roca, L., Guzmán, J. L., Normey-Rico, J. E., Berenguel, M., Yebra, L. Filtered Smith predictor with feedback linearization and constraints handling applied to a solar collector field. *Solar Energy*, 1056-1067, 2011.

Ayala, C. O., Roca, L., Guzmán, J. L., Normey-Rico, J. E., Berenguel, M., Yebra, Luis. Local model predictive controller in a solar desalination plant collector field. *Renewable Energy*. 1-12, 2011.

Guzmán, J.L., T. Hägglund. Simple tuning rules for feedforward compensators. *Journal of Process Control* 21(1), 92-102, 2011.

Pawlowski, A., Guzmán, J.L., Rodríguez, F., Berenguel, M., Normey-Rico, J. Predictive Control with Disturbance Forecasting for Greenhouse Diurnal Temperature Control. 18th IFAC World Congress, Milano, 2011.

Santos, T.L.M., Roca, L., Guzmán, J.L., Normey-Rico, J., Berenguel, M. Practical MPC with robust dead-time compensation applied to a solar desalination plant. 18th IFAC World Congress, Milano, 2011.

Fernández, I., C. Rodríguez, J.L. Guzmán, M. Berenguel. Control predictivo por desacoplo con compensación de perturbaciones para el benchmark de control. *RIAI: Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial* 8(2), 112-121, 2011.

4.2 ESTRATEGIAS DE CONTROL Y SUPERVISIÓN PARA LA GESTIÓN INTEGRADA DE INSTALACIONES EN ENTORNOS ENERGÉTICAMENTE EFICIENTES.

Participantes: Grupo de Inv. “Automática, Electrónica y Robótica” de la Universidad de Almería. Proyecto coordinado con las universidades de Sevilla, Valladolid y CIEMAT-Plataforma Solar de Almería.

Contactos: F. Rodríguez (ffrodrig@ual.es); Luis Yebra, luis.yebra@psa.es

Fuente de financiación: Plan Nacional – DPI2010-21589-C05-04 (UAL), DPI2010-21589-C05-05 (CIEMAT)

Duración prevista: Enero 2010 – diciembre 2013

Situación: Activo.

Antecedentes: continuación del proyecto “Control jerárquico de procesos con conmutación en el modo de operación: aplicaciones a plantas solares e invernaderos” (DPI2007-66718-C04-04).

Objetivos:

1. Desarrollo de metodologías para la obtención de modelos de sistemas energéticamente eficientes y entornos en los que se utilice energías renovables (principalmente la solar).
2. Desarrollo de estrategias de control predictivo robusto e híbrido para este tipo de procesos, en los que existen diferentes niveles jerárquicos de decisión a considerar (debido a diferentes escalas dinámicas, su naturaleza híbrida y los cambios en los modos de operación).
3. Desarrollo de formulaciones de MPC cooperativo para una gestión económica óptima de los sistemas de energía heterogéneos que se consideran en este proyecto.
4. Implementación y validación de los desarrollos anteriores en diferentes plantas industriales con diferentes demandas en generación, distribución y uso de electricidad y procesos térmicos.

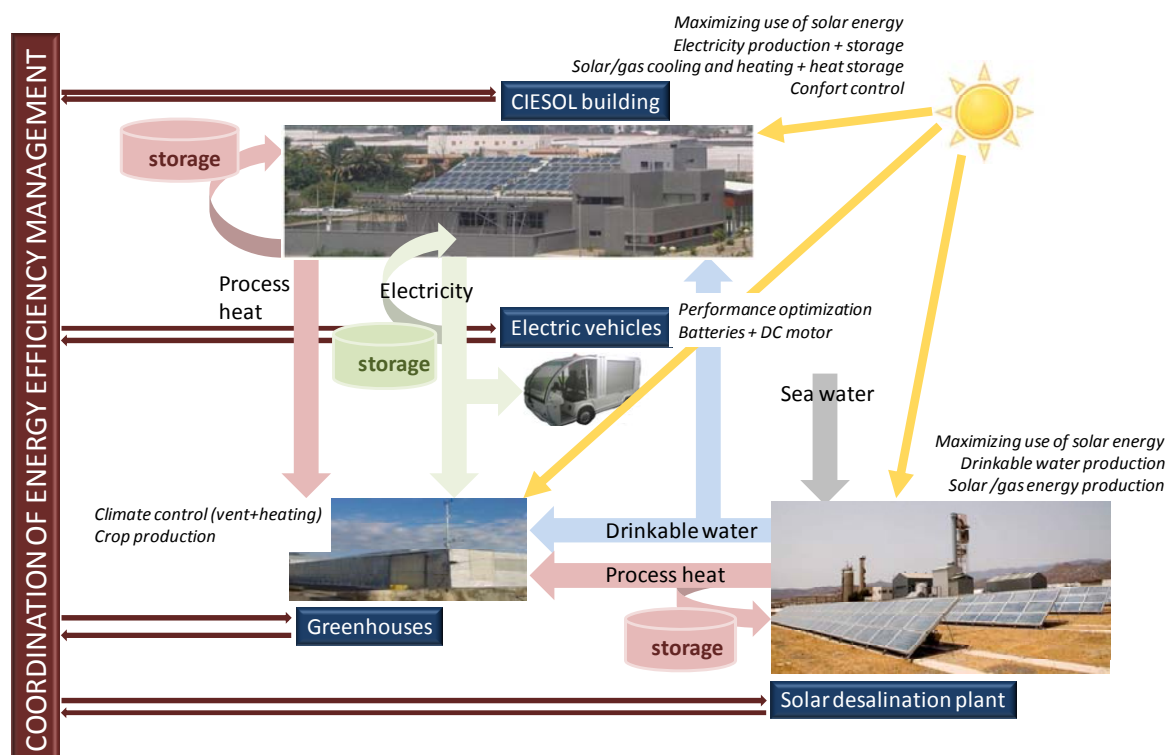


Figura 4.2. Proyecto POWER

Resultados durante 2011. Estrategias de control predictivo, robusto y no lineal aplicadas a sistemas energéticos. Modelado de sistemas de energías renovables. Control jerárquico y óptimo de sistemas energéticos.

Abstract. *This project deals with the analysis, study and application of modeling, control and optimization strategies (in the framework of Model-based Predictive Control, MPC) to achieve an efficient energy management in renewable energy micro-grids. The problem is composed by different control levels, because decisions about the final use of the available energy have to be made and there are therefore different objectives (minimizing the use of conventional fossil energy sources, economic, environmental and quality aspects, etc.) that give rise to a hierarchical control problem that requires coordination and cooperation between systems and that will be addressed using control techniques including —economic MPC, Real Time Optimization (RTO) and cooperative and distributed MPC, being also necessary to develop models, estimators and predictors of the energy generation and demand stages. The three basic objectives of the coordinated project are:*

1. *Development of methodologies for obtaining models of renewable energy micro-grids. The micro-grid paradigm will be extended to include heterogeneous sources and loads. The calculation of reduced models suited for analysis and design will be especially relevant.*
2. *Development of model predictive control strategies for renewable energy micro-grids, including cooperative MPC formulations for the optimal economic management of heterogeneous energy systems. The main focus will be on the development of strategies with potential applicability in complex processes.*
3. *Implementation and validation of the strategies in selected experimental plants. 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 processes. Therefore this proposal has aroused interest in different companies such as Hynergreen, Greenpower, Fundación Cajamar, Rijk Zwaan or Auenergy, naming only a few. The proposal is also a natural continuation follow-up of previous work carried by four of the research groups integrating the consortium, which has been extended to include an emergent group. The team has a remarkable experience in control systems backed by many papers published in some of the most cited scientific journals. We feel that significant contributions will be made because the research team has a wide experience in MPC and energy systems and will benefit from close cooperation with other European research teams.

Publicaciones.

Beschi, M., A. Visioli, M. Berenguel, L.J. Yebra. Constrained temperature control of a solar furnace. *IEEE Transactions on Control System Technology*, in press, 2011.

Gruber, J.K., J.L. Guzmán, F. Rodríguez, C. Bordóns, M. Berenguel, J. Sánchez. Nonlinear MPC based on a Volterra series model for greenhouse temperature control using natural ventilation. *Control Engineering Practice*, 2011, in press, doi:10.1016/j.conengprac.2010.12.004.

Moreno, J.C., J.L. Guzmán, A. Baños, M. Berenguel. The input amplitude saturation problem in QFT: a survey. *Annual Reviews in Control*, in press, 2011.

Guzmán, J.L., S. Dormido, M. Berenguel. Interactivity in Education: an experience in the Automatic Control Field. *Computer applications 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 Transactions*, doi:10.1016/j.isatra.2010.11.007, 2011.

González, R., M. Fiacchini, T. Álamo, J.L. Guzmán, F. Rodríguez. Online robust tube-based MPC for time-varying systems: a practical approach. *International journal of control* 84(6), 1157-1170, 2011.

Bonilla, J., L. Yebra, S. Dormido. A Heuristic Method to Minimise The Chattering Problem in Dynamic Mathematical Two-phase Flow Models. *Mathematical and Computer Modelling* 54(5-6), 1549-1560, 2011.

Bonilla, J., L. Yebra, S. Dormido, F. Cellier. Object-Oriented Modeling of Switching Moving Boundary Models for Two-phase Flow Evaporators and Condensers. Vienna Conference on Mathematical Modelling (MATHMOD), 2011.

De la Calle-Alonso, A., L. Roca, L. Yebra, A. Vidal, S. Dormido. Modelling Thermo-chemical hydrogen generation in a solar power plant. Vienna Conference on Mathematical Modelling (MATHMOD), 2011.

Sánchez-Molina, J., F. Rodríguez, J.L. Guzmán, M.R. Arahál, M. Fernández. Modelling of tomato crop transpiration dynamics. *Acta horticulturae* 893, 729-737, 2011.

4.3. PROYECTO SINGULAR ESTRATÉGICO SOBRE ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA Y FRÍO SOLAR (PSE-ARFRISOL)

Participantes: Para llevar a cabo las Investigaciones de este PSE se firmó el 15 de Diciembre de 2005 un Acuerdo de Consorcio entre las siguientes Instituciones:

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

Contactos: M. R. Heras (Mrosario.heras@ciemat.es), M. J. Jiménez (Mjose.Jimenez@psa.es) F.J. Batlles (fbatlles@ual.es). <http://www.ciemat.es/> -

Grupo de modelado y control automático: M. Berenguel (beren@ual.es), M. Pérez (mperez@ual.es).

Fuente de financiación: 50% MEC y las CCAA

Duración prevista: Mayo 2005 – mayo 2012

Situación: En curso.

Antecedentes: ver informe de los años 2008, 2009 y 2010.

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

Resultados durante 2011:

- Modelado y control avanzado del sistema de frío solar.
- Contribución a las actividades de monitorización de sistemas activos.
- Contribución al desarrollo del sistema SCADA de monitorización y adquisición de datos.
- Mantenimiento de la red de sensores de CIESOL.
- Análisis de parámetros de confort térmico en el CDdI-CIESOL-ARFRISOL.
- Modelado y control avanzado de una habitación tipo del CDdI-CIESOL-ARFRISOL.

- Evaluación energética del CDdI-CIESOL-ARFRISOL.



Figura 4.3. Actividades en ARFRISOL 2011

Abstract: *The main activities during 2011 in this project have been related to the monitoring and hierarchical control of the installations, mainly in aspects related to the solar cooling system and control confort inside the building. The main results during 2011 are:*

- *Modeling and advanced control of the solar cooling system.*
- *Monitoring of active systems.*
- *Design of SCADA systems and maintenance of the sensors network.*
- *Confort analysis in CDdI-CIESOL-ARFRISOL.*
- *Modeling and advanced control of a demonstration room in CDdI-CIESOL-ARFRISOL.*
- *Energy evaluation CDdI-CIESOL-ARFRISOL.*

Publicaciones.

Castilla, M.M., J.D. Álvarez, M. Berenguel, F. Rodríguez, J.L. Guzmán, M. Pérez. A comparison of thermal confort predictive control strategies. *Energy and Buildings*, 43(10), 2737-2746, 2011.

Pasamontes, M., J.D. Álvarez, J.L. Guzmán, J.M. Lemos, M. Berenguel. A switching control strategy applied to a solar collector field. *Control Engineering Practice*, 19, 135–145, 2011.

Pasamontes, M., J.D. Álvarez, J.L. Guzmán, M. Berenguel. Learning switching control: a tank level-control exercise. *IEEE Transactions on Education*, in press, doi: [10.1109/TE.2011.2162239](https://doi.org/10.1109/TE.2011.2162239) 2011.

Castilla, M.M., J.D. Álvarez, M. Berenguel, F. Rodríguez, J.L. Guzmán, M. Pérez. Thermal confort predictive control strategies for a solar energy research center. *Proceedings ISES Solar World Congress 2011*, Kassel, Germany.

Castilla, M.M., J.D. Álvarez, M. Berenguel, F. Rodríguez, J.L. Guzmán, M. Pérez. Control predictivo del confort térmico de los usuarios de un edificio bioclimático. XXXII Jornadas de Automática, Sevilla, España. Premio del Comité Español de Automática al mejor trabajo en Ingeniería de Control.

Pasamontes, M., J.D. Álvarez, R. Silva, J.L. Guzmán, M. Berenguel, M. Pérez. Nonlinear model of a low-temperature solar energy facility for operation optimization. Solarpaces 2011, Granada, Spain.

4.4 SIMULACIÓN Y CONTROL DE INSTALACIONES TERMOSOLARES DE CAPTADORES CILINDROPARABÓLICOS EN APLICACIONES INDUSTRIALES Y DE REFRIGERACIÓN

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: Proyecto de Excelencia de la Junta de Andalucía RMM-5927

Duración prevista: Marzo 2011 – Marzo 2014.

Situación: En desarrollo.

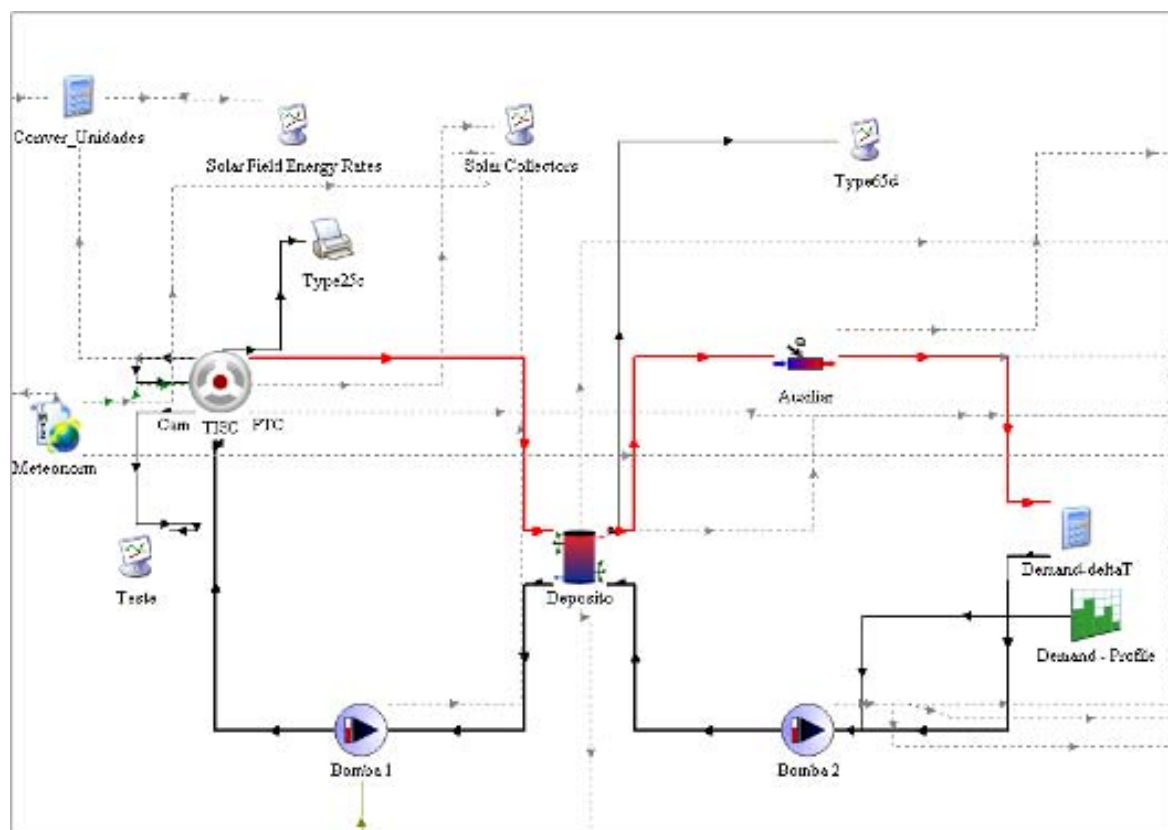


Figura 4.4. Esquema de integración incluyendo Types TRNSYS y objetos de Modelica para la simulación de un campo solar.

Antecedentes: Este proyecto deriva del proyecto CAPSOL (Desarrollo de un 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 y del proyecto de investigación “Simulación de plantas termosolares de captadores cilindro

parabólicos para generación de calor de proceso” realizado en colaboración de la Fundação para a Ciência e a Tecnologia de Portugal.

Objetivos: Desarrollos recientes por parte de diversos fabricantes y organismos de investigación de concentradores cilindro-parabólicos de baja apertura, con y sin cubierta transparente, está permitiendo contar con dispositivos de conversión termosolar idóneos para aplicaciones de tipo industrial y refrigeración por absorción por doble efecto, caracterizadas por un rango térmico comprendido entre los 150 y 250 °C. A pesar de ello, la multiplicidad de esquemas de acoplamiento generador-demanda existentes derivada de la propia diversidad de los procesos industriales a considerar así como el carácter netamente no estacionario de los mismos exige un esfuerzo de investigación y desarrollo que permita a) establecer un marco de simulación que proporcione un dimensionado correcto de las instalaciones y b) la elaboración de algoritmos de control que optimicen la operación rutinaria de las mismas. De forma paralela al desarrollo de las herramientas anteriores, el proyecto aborda la realización de un análisis de potencialidad de mercado basado en la valoración de la demanda térmica industrial regional y la optimización técnico-económica de casos de estudio específicos.

Resultados durante 2011: Desarrollo de un modelo dinámico completo de colector cilindro-parabólico implementado en Modelica de carácter bi-dimensional. El modelo permite el análisis de sensibilidad con respecto a parámetros físicos, el cálculo de pérdidas térmicas y la evaluación de otros parámetros de funcionamiento del sistema. Sobre la base del modelo también se han abordado esquemas descriptivos estacionarios algebraicos, dinámicos concentrados y dinámicos “multi-nodo”.

Desarrollo de un modelo de campo solar con acoplamiento de colectores individuales en retorno directo y retorno invertido que permite la evaluación del comportamiento termo-hidráulico completo del sistema y del interconexión serie-paralelo de sus elementos.

Desarrollo de una plataforma de co-simulación basada en el software TISC (TLK inter software connector) para la integración de los modelos anteriormente mencionados con otros softwares dinámicos, con especial atención a TRNSYS.

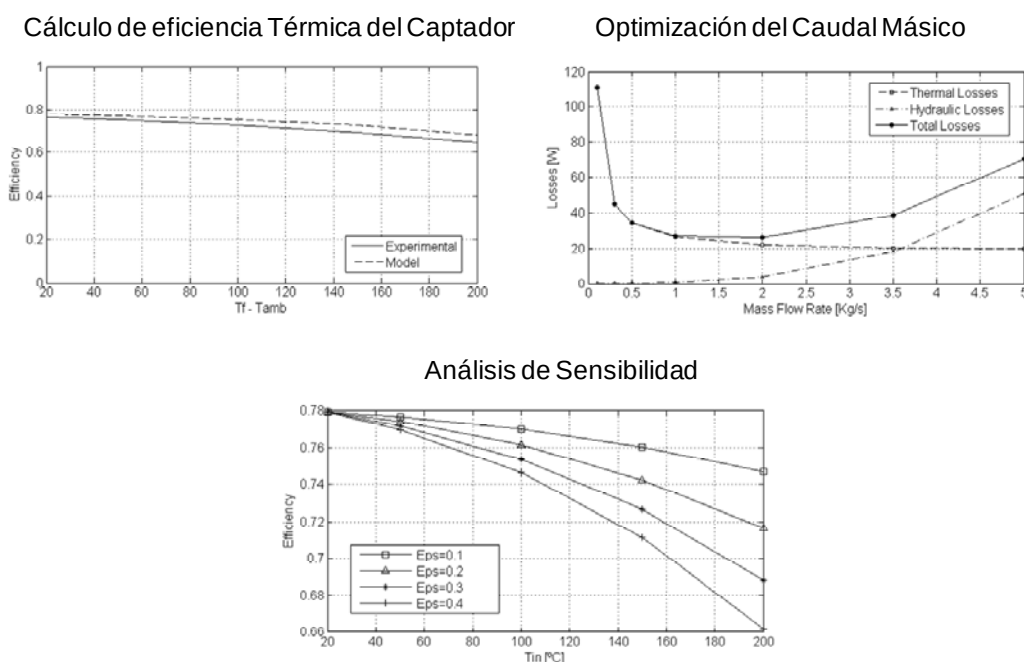


Figura 4.5. Ejemplos de potencialidades de cálculo del modelo de colector desarrollado.

Abstract: *Recent developments by manufacturers and research organizations of low aperture parabolic trough concentrators, with and without transparent cover, are allowing to have solar conversion devices ideal for applications involving industrial process heat and absorption refrigeration dual effect, characterized by temperature range between 150 and 250 °C. However, the multiple generator-demand coupling existing schemes derived from the diversity of industrial processes and the purely non-stationary nature of the processes require a research and development effort to enable a) to establish a framework simulation to provide a correct dimensioning of the facilities and b) the development of control algorithms that optimize the routine operation thereof. Parallel to the development of these tools, the project addresses an analysis of market potential based on the assessment of regional industrial heat demand and the technical-economic optimization of specific case studies.*

Publicaciones.

Silva R., Pasamontes M. Guzmán J.L., Pérez M. y Berenguel M. Interactive tool to teach solar parabolic trough concepts. ISES Solar World Congress 2011

Valenzuela L., Hernández D., Zarza E. y Pérez M. (2011) Pressure Losses in Small-Sized Parabolic-Trough Solar Fields for Industrial Process Heat. ISES Solar World Congress 2011

Guerrero A., Fernández A., Pérez M., Zarza E. y Valenzuela L. (2011) Modelling of a small-sized parabolic-trough solar collector field for process heat in the cork industry. ISES Solar World Congress 2011, Kassel.

Fernández A., Zarza E., Valenzuela L., Pérez M., Valcarcel E., Rojas E. y León J. (2011) Development of a small-sized parabolic-trough collector. final CAPSOL project results. ISES Solar World Congress 2011, Kassel.

4.5 SERVICIO PARA LA ELABORACIÓN DE UN ANÁLISIS PARA EL IMPULSO DE PROYECTOS TECNOLÓGICO-EMPRESARIALES DE LA INDUSTRIA DE LAS TIC EN EL ÁMBITO DE LOS EDIFICIOS INTELIGENTES

Participantes: Unidad de Modelado y Control Automático (CIESOL) y HABITEC (Centro de Tecnologías, Energías y Construcción para el Hábitat)

Contactos: M. Pérez (mperez@ual.es)

Fuente de financiación: SANDETEL (Sociedad Andaluza para el Desarrollo de las Telecomunicaciones S.A.) Consejería de Economía, Innovación y Ciencia de la Junta de Andalucía

Duración prevista: Junio 2010– Junio 2011.

Situación: finalizado.

Antecedentes: El centro tecnológico HABITEC bajo contrato sometido a concurso público ha coordinado un consorcio de empresas y grupos de investigación (ACT Technology, AERTEC, AZVI, CIESOL, DETEA, Grupo de Ingeniería Electrónica de la Universidad de Sevilla, OHL) para la prestación del servicio de elaboración de un análisis para el impulso de proyectos tecnologico-empresariales de la industria de las TIC en el ámbito de los edificios inteligentes para la Sociedad Andaluza para el Desarrollo de las Telecomunicaciones. Este estudio forma parte de un conjunto de estudios estratégicos oficiales cuyo objetivo es poner a disposición del mercado información específica sobre potenciales áreas de negocio vinculadas a las TICs en sectores específicos (edificación inteligente, salud, transporte, sostenibilidad,...)

Objetivos: Realizar un análisis del estado del sector de la Edificación Inteligente, desde una perspectiva regional, nacional e internacional y tratar como áreas de estudio las siguientes: seguridad, eficiencia energética, control y gestión, accesibilidad, comunicaciones, multimedia y las fases del ciclo de vida del edificio. Los ámbitos de trabajo han sido los de las infraestructuras, los protocolos y estándares de comunicación, y a las pasarelas para integración e interoperabilidad de protocolos y servicios.

Resultados durante 2011: Se ha realizado una contribución al estudio en el capítulo de infraestructuras relacionada con la descripción de los dispositivos físicos de sensorización de condiciones ambientales en edificios orientados a su integración en sistemas de control de condiciones ambientales y domótica.



Figura 4.6. Portada del informe: “Estado del arte de las TIC aplicadas a la edificación inteligente” elaborado en el marco del contrato con HABITEC.

Abstract: *To perform an analysis of the sector of Intelligent Building, on a regional, national and international basis and to deal with security, energy efficiency, control and management, accessibility, communications, media and building life cycle assesment. The areas of work have been those of infrastructure, communication protocols and standards, and gateways for integration and interoperability protocols and services.*

Publicaciones.

Estado del Arte de las TIC aplicadas a la Edificación Inteligente
(http://www.sandetel.es/index.php?option=com_remository&Itemid=102&func=startdown&id=54)

5. Actividades en Evaluación del Recurso Solar

Principales objetivos

La principal línea de investigación desarrollada ha sido la evaluación y modelización del recurso solar. Además se trabaja en otra línea de investigación sobre “Instalaciones solares para la climatización de edificios y ”frío solar””.

Main objectives

- √ *Evaluation and prediction of solar resource.*
- √ *Design, installation and modeling of solar refrigeration absorption machines.*

Investigador principal

Prof. Francisco Javier Batlles acumula 55 artículos en revistas internacionales indexadas; unas 120 comunicaciones a congresos, tanto nacionales como internacionales; 7 tesis doctorales dirigidas; Investigador Principal de 5 proyectos financiados por el Ministerio de Ciencia e Innovación –Plan Nacional de Investigación I+D+i-; Investigador Principal de 7 contratos de investigación con empresas. Responsable del Proyecto “Arquitectura Bioclimática y Frío Solar (ARFRISOL)” en la Universidad de Almería. Proyecto financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación –Plan Nacional de I+D+i – Proyectos Singulares Estratégicos- y con una duración de 7 años. Fruto de la experiencia adquirida en esta línea de investigación, se creó en el año 2009 la Empresa de Base Tecnológica SOLARIS INNOVA, S.L, de la cual es socio fundador. SOLARIS INNOVA, S.L. tiene como objetivo la investigación, desarrollo y diseño de instalaciones de energía solar térmica de baja temperatura, para el sector residencial y hotelero.



Grupo de Evaluación del Recurso Solar

Head of research.

Prof. Francisco Javier Batlles has 55 articles in international journals, about 120 conference papers, both national and international, 7 doctoral theses directed, Principal Investigator 5 projects funded by the Ministry of Science and Innovation - National Research Plan I + D + i-, Principal Investigator of 7 research contracts with companies. Project Manager "Bioclimatic Architecture and Solar Cooling (ARFRISOL)" at the University of Almería. Project funded by

the Ministry of Science and Innovation, National R + D + i - Special Strategic Projects, and with a duration of 7 years. Result of the experience gained in this research, was established in 2009, the technology-based company INNOVA SOLARIS, SL, of which he was a founding partner. SOLARIS INNOVA, SL aims to research, development and design of solar thermal power plants of low temperature, for residential and hotel.

5.1. PROYECTO “PREDICCIÓN A CORTO PLAZO DE LA NUBOSIDAD UTILIZANDO TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN Y DE TRATAMIENTO DE IMÁGENES.

Participantes: Grupo de Evaluación del Recurso Solar (CIESOL).

Contactos: Francisco Javier Batlles (fbatlles@ual.es).

Fuente de financiación: Ministerio de Ciencia e Innovación – Plan Nacional I+D+I

Duración prevista: 01/01/2012-31/12/2014

Situación: Activo

Antecedentes: La creciente demanda de electricidad, junto con el agotamiento de los combustibles fósiles y las consecuencias de los gases de efecto invernadero han fomentado el desarrollo de fuentes renovables baratas y fiables de energía eléctrica a nivel mundial. A este respecto, la energía solar es probablemente la única solución sostenible que realmente puede responder a las expectativas energéticas a largo plazo. La producción eléctrica a partir de energía solar ha mejorado enormemente en los últimos años, permitiéndole una significativa expansión, gracias al aumento de la eficiencia de la conversión energética y el abaratamiento de los costes de producción e instalación. España es un referente en aplicaciones de la energía solar, pues es uno de los países líderes en producción solar eléctrica a nivel mundial.

La gestión de la operación de las plantas solares y la integración de su producción en las redes de distribución eléctrica involucran desafíos tecnológicos que deben ser resueltos. El problema se debe, principalmente, al carácter intermitente y no determinista del recurso solar. En particular, estas fluctuaciones solares pueden dar lugar a estrés térmico en los espejos de concentración empleados en las centrales termosolares o a inestabilidades en la red eléctrica debido a los transitorios causados por el paso de las nubes, por ejemplo. Así, uno de los requerimientos más importantes en las centrales termosolares es ser capaces de predecir cuándo una nube va a cubrir el campo de espejos y cuánta radiación solar va a ser atenuada. Por lo tanto, estas centrales necesitan predicciones de radiación directa (DNI), que es el recurso solar en que ellas están interesadas, para mejorar los sistemas de gestión de la planta y prevenir daños en las instalaciones. Esta predicción, conocida con el término inglés nowcasting, se refiere a las primeras 1-2 horas. Además, a medida que crece el número de plantas renovables que están integradas en la red general de distribución eléctrica, la gestión de la red y la distribución de la electricidad se hace más y más compleja y difícil debido, precisamente, a la intermitencia del recurso, que pone así en riesgo la estabilidad del sistema. Este hecho limita fuertemente la cantidad de centrales renovables que el sistema es capaz de gestionar. Para incrementar este número, sin incrementar el riesgo de apagones o sobretensiones, la predicción del recurso con, al menos 24 horas de antelación, es igualmente necesaria.

Así pues, el uso y desarrollo de predicciones del recurso solar se antoja como una pieza muy importante para alcanzar los objetivos planteados por los estados miembros de la Unión Europea en materia de energías renovables para el año 2020. Más aún, la Agencia Internacional de la Energía estableció que la “predicción fiable de radiación solar” es el tema de investigación de mayor interés científico en el área del recurso solar. Tanto los satélites, para el nowcasting, como los modelos numéricos de predicción meteorológica (MNPM), para predicción a más largo

plazo, son actualmente las herramientas más importantes para llevar a cabo esta tarea. Así como la predicción del recurso eólico ya ha alcanzado cierto nivel de madurez, la radiación solar aún necesita de un importante desarrollo en esta materia.

Objetivos: El objetivo fundamental de este proyecto es predecir la radiación nubosidad sobre una determinada localidad en un corto período de tiempo, 1, 2 o tres horas. Para ello se utilizarán imágenes de última generación del satélite METEOSAT e imágenes de una cámara de cielo.

Resultados durante 2011: No procede.

Abstract. *Increasing demand for electricity, coupled with a declining fossil fuel base and the consequences of greenhouse gas emissions, have stimulated efforts worldwide for developing cheap and reliable supplies of electricity from renewable sources. Solar energy is probably the only long-term supply-side energy solution that is both large enough and acceptable enough to sustain these planet's long term requirements. Power production using solar energy has improved globally and experienced a significant expansion by, primarily, reducing costs and achieving greater conversion efficiency. Spain can be regarded as a reference sit for solar energy applications, since it is one of the world leading countries in electricity production from solar origin sources.*

A major challenge for the future will be the solar plants operation management and the integration of the large scale solar yields into existing energy supply structures. The problem arises from the fluctuating character of the solar resource, as compared to conventionally generated electricity, and its dependence on non-deterministic weather patterns. This presents challenges regarding a wide range of aspects of the operation and yield integration of the plants in the electric grid. Particularly, it may lead to harmful thermal stress into the STPP concentrating mirrors or instabilities in the electric network due to transients originated by the clouds movement. As a result, one of the main problems in the operation of STPP is to predict when a cloud will cover the field and how much solar radiation will be attenuated.

Therefore, STPPs need forecasts of direct normal solar irradiance (DNI) –the resource they are interested in– for improved operation management and to prevent damages in the facilities. This forecasting, known as nowcasting, has to be provided at a time horizon of 1-2 hours ahead. In addition, as the number of renewable energy plants integrated in the electric grid increases, the management and distribution of the energy in the whole grid becomes more and more complex because of the intermittent availability of solar resource which puts at risk the stability of the supply. This strongly limits the rate of solar facilities that the system is able to hold. In order to maximize their penetration into the distribution grid without outages and congestion, forecasting of solar radiation at least 24 hours ahead is vital. Therefore, development of forecasts of the solar resources will be certainly of fundamental importance in order to reach the objectives stated by the EU's member states for renewable energies penetration into the electricity grid by 2020. Particularly, the International Energy Agency (IEA) establishes that “precise local solar forecasts” is the main topic of research interest in the area of the solar energy resources. Both satellite (nowcasting) and NWP (forecasting) are referenced as the most important tools regarding this area of research. Just as wind forecasting has reached certain level of maturity, solar radiation still need profuse research efforts..

Publicaciones. No procede

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 Evaluación del Recurso Solar (CIESOL).

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 2011: Declarados confidenciales.

Abstract. *Clouds are very important for modeling solar irradiance on earth surface, mainly when sky is partially cloudy. This project is focused in assessing the effect of clouds on solar thermal plants operation by artificial neural networks. Despite the important development nowadays of this methodology related with artificial intelligence in different research areas, it is really novel to apply it for modelling solar irradiation*

6. Actividades en Química Ambiental

Principales objetivos

La actividad del grupo está enfocada al desarrollo, optimización y evaluación analítica de procesos avanzados de tratamiento de aguas aplicados a efluentes complejos con vistas a su regeneración y en su caso posible reutilización. Las líneas estratégicas de actuación son:

- ✓ Desarrollo de métodos analíticos avanzados para la caracterización de efluentes complejos y su aplicación al seguimiento de microcontaminantes orgánicos durante los tratamientos a fin de garantizar su eliminación.
- ✓ Identificación de productos de transformación generados durante procesos naturales en agua (fotólisis, hidrólisis, biodegradación), tratamientos avanzados y establecimiento de rutas de degradación.
- ✓ Estudio de la influencia de los tratamientos en la calidad de las aguas regeneradas y evaluación del impacto derivado de su reuso en riego.

Main objectives

The activity of the group is focused on the development, optimization and analytical assessment of advanced wastewater treatment processes applied to complex effluents in order to get their regeneration and enable their possible reuse. The strategic lines of action include:

- ✓ *Development of advanced analytical methods for characterizing complex effluents and its application to monitoring of organic micropollutants during wastewater treatment to ensure its elimination.*
- ✓ *Identification of transformation products generated during natural processes in water (photolysis, hydrolysis, biodegradation), wastewater advanced treatments and establishment of routes of degradation.*
- ✓ *Study of the influence of treatments on the quality of reclaimed water and evaluating the impact of their reuse in irrigation.*

Investigadores principales

Prof. Amadeo Rodríguez Fernández-Alba (UAL). Catedrático de Universidad. Departamento de Hidrología y Química Analítica. Licenciado en Ciencias Químicas (Química Analítica) por la Universidad Complutense de Madrid (1977) y Doctor en Ciencias Químicas por la Universidad de Granada (1987). Director del grupo de investigación “Residuos de Plaguicidas” del Plan Andaluz de Investigación desde 1993, ha desarrollado su labor científica en temas relacionados con el desarrollo y validación de métodos de análisis de plaguicidas y otros contaminantes prioritarios y emergentes en alimentos y muestras medioambientales mediante técnicas de cromatografía acoplada a espectrometría de masas.

Ha participado en **24 proyectos de I+D** de ámbito nacional, 11 internacionales y 6 regionales, 31 de ellos como investigador principal, así como **47 Contratos de Investigación con Empresas Privadas y Entidades Públicas**. Editor de 1 libro en Editorial Nacional y 2 en Editorial Internacional (Elsevier). Co-autor de 200 publicaciones en revistas científicas internacionales con índice de impacto, 15 capítulos de libros, 3 patentes, más de 200 contribuciones a Congresos y Simposios internacionales. Además, ha dirigido 12 Tesis Doctorales y una Tesis de Licenciatura y participado en la organización de diferentes cursos y reuniones científicas nacionales e internacionales.

Dr. Sixto Malato Rodríguez (CIEMAT). Investigador Titular del CIEMAT (Ministerio de Ciencia e Innovación), siendo Responsable de la Unidad de Tratamientos Solares de Agua en la

Plataforma Solar de Almería. Licenciado C. Químicas (Ing. Química) por la Universidad de Granada (1987). Master en Ciencias Medioambientales por *Instituto de Investigaciones Ecológicas* (Málaga, 1994). Doctor en C. Químicas por el Dep. de Ing. Química de la Univ. de Almería (1997). Su actividad profesional comenzó en 1987 como investigador en el Dep. de Ing. Química de la Univ. de Almería y en 1988 pasó al Dep. de Producción de la Refinería de REPSOL S.A. en Puertollano. Desde 1990 trabaja en la Plataforma Solar de Almería (PSA-CIEMAT). Su labor científica ha estado fundamentalmente relacionada con Proyectos de I+D centrados en la descontaminación de aguas mediante procesos de oxidación avanzada. Ha coordinado o participado 16 Proyectos Nacionales, 15 Proyectos Internacionales (3rd, 4th, 5th, 6th y 7th EU Framework Programmes) y 6 Contratos de Investigación con Empresas Privadas relacionados con el desarrollo de Tecnologías Solares para el tratamiento de aguas residuales industriales y reutilización de agua industrial y municipal.

Autor de 1 libro en Editorial Internacional y 15 libros en Editorial Nacional. Co-autor de 49 capítulos de libros. Co-autor de más de 170 publicaciones en revistas científicas internacionales con índice de impacto, 4 patentes, y más de 230 contribuciones a Congresos y Simposios internacionales. Además, ha participado como profesor en múltiples cursos nacionales e internacionales relacionados con el Tratamiento Avanzado de Aguas Residuales y dirigido 11 Tesis Doctorales. Editor asociado de Revista internacionales *Environmental Chemistry Letters* (Editorial Springer) y *Journal of Advanced Oxidation Technologies* (Sci.& Technol. Network, Inc.). Miembro de Comité editorial de Revista internacionales: *Catalysis Today* (Editorial Elsevier) y *Photochemical and Photobiological Sciences*. (RSC Publishing).

h-index (<http://www.scopus.com>, Enero 2012): **45**. **Premio Jaime I** de Protección del Medio Ambiente, 2011. <http://www.fvea.es/medioambiente.html>. Gran Premio del Jurado del **Premio Europeo de Innovación**, 11 Diciembre 2004, Mónaco. http://www.european-grandprix.com/index_en.htm.

Heads of research.

Prof. Amadeo Rodríguez Fernández-Alba (UAL). *Full Professor. Department of Hydrogeology and Analytical Chemistry. Degree in Chemistry (Analytical Chemistry) by Univ. Complutense of Madrid (1977); PhD by the Univ. of Granada (1987). Head of the group "Pesticide Residues" since 1993, he has developed his scientific work on issues related to the development and validation of analytical methods for pesticides and other priority and emerging contaminants in food and environmental samples by chromatographic techniques coupled to mass spectrometry. He has participated in 41 research projects (national and international projects) leading 31 of them, as well as in 47 Research contracts with private companies and public administrations. Editor of 1 national and 2 international books (Elsevier). Co-author of 200 peer-reviewed international publications, 15 book chapters, 3 patents and more than 200 contributions to international conferences and symposiums. He has directed 12 PhD theses and has participated in organizing various courses and national and international scientific meetings.*

Dr. Sixto Malato Rodríguez (CIEMAT). *Dipl. Chemistry (Chemical Engineering) by Facultad de Ciencias of University of Granada (1987). Master in Environmental Sciences by the Instituto de Investigaciones Ecológicas (Málaga, 1994). PhD in Chemical Engineering at the University of Almería (1997). His professional activities started in 1987 as Junior Researcher in Chem. Eng. Department of Univ. of Almería; in 1988 he joined the Production Department in an oil refinery (REPSOL S.A.) in Puertollano (Spain). Since 1990 he works at the Plataforma Solar de Almería (PSA-CIEMAT) in all the EU R&D projects linked to the Solar Detoxification of water. Concretely, he has been involved in 15 International, 16 National R&D Projects and different Contracts (with Private Companies) related to the development of solar wastewater treatment*

technologies, and has been involved in the design and construction of all the experimental pilot plants for solar photocatalytic treatment of water and waste water in Europe.

He is author of 1 book and co-author of 15 books as well as 47 chapters in others. He has also co-authored more than 170 publications in indexed international journals, 29 articles in technical journals and more than 230 contributions to International Congress and Symposiums and 4 patents. He has directed 11 PhD Thesis. Ass. editor *Environmental Chemistry Letters* (Ed. Springer), and *Journal of Advanced Oxidation Technologies* (Sci.& Technol. Network, Inc.). Member of editorial board: *Catalysis Today* (Elsevier) and *Photochemical and Photobiological Sciences*. (RSC Publishing). **h-index** (<http://www.scopus.com>, January 2012): **45**.

Jaime I Price in *Environmental Protection*, 2011. <http://www.fvea.es/medioambiente.html>. The Jury's Grand Prix of "**European Grand Prix for Innovation Awards**". 11 December 2004, Mónaco. http://www.european-grandprix.com/index_en.htm.



Grupo de Química ambiental

6.1. 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: 25/06/2012.

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 2011:

- Se ha ampliado el alcance de los métodos incluyendo la evaluación de drogas de abuso y sus metabolitos más relevantes, en este caso haciendo uso de una metodología muy simple que evita la etapa de pretratamiento de las muestras, realizando la inyección directa de las mismas en un sistema de LC-MS/MS altamente sensible. Con esta misma metodología se ha realizado un minucioso estudio acerca del comportamiento de un grupo de contaminantes seleccionados por su interés en las aguas residuales (nicotina, cafeína, cotinina, ácido nicotínico, paraxantina y trigonelina). Se comprobó que todos ellos estaban presentes en los efluentes a concentraciones de ug/L y que por tanto alcanzan las aguas naturales, habiéndose determinado su presencia en agua de río a concentraciones entre 23 y 524 ng/L. Los resultados obtenidos ponen de manifiesto que estos compuestos pueden ser considerados como indicadores adecuados de la contaminación del agua por actividades humanas, ya que este estudio revela la ubicuidad

de los mismos en los diferentes ambientes acuáticos. A pesar de su baja-media estabilidad en el agua, su presencia es consecuencia de su continua entrada en el medio ambiente acuático.

- Se han realizado colaboraciones con grupos de tratamiento de aguas proporcionando el soporte analítico en el seguimiento de los procesos de degradación mediante ozonación y foto-Fenton de contaminantes emergentes (sulfametoxazol, ácido fenofibrico, amoxicilina).
- Se han realizado estudios para mejorar el proceso de foto-Fenton a pH neutro. El uso de ácidos húmicos como aditivo no ha proporcionado buenos resultados ya que solo funciona bien a $\text{pH} < 4.5$. Además, se ha comprobado que la desinfección del agua tratada no es completa y hay recrecimiento de microorganismos. Por tanto, el tratamiento con ácido húmicos ha sido descartado. Sin embargo, el tratamiento a pH neutro utilizando complejos de hierro con ácido Ethylenediamino-N,N'-disuccinico (EDDS) ha sido exitoso ya que se consigue eliminar los microcontaminantes en unos minutos y desinfectar.

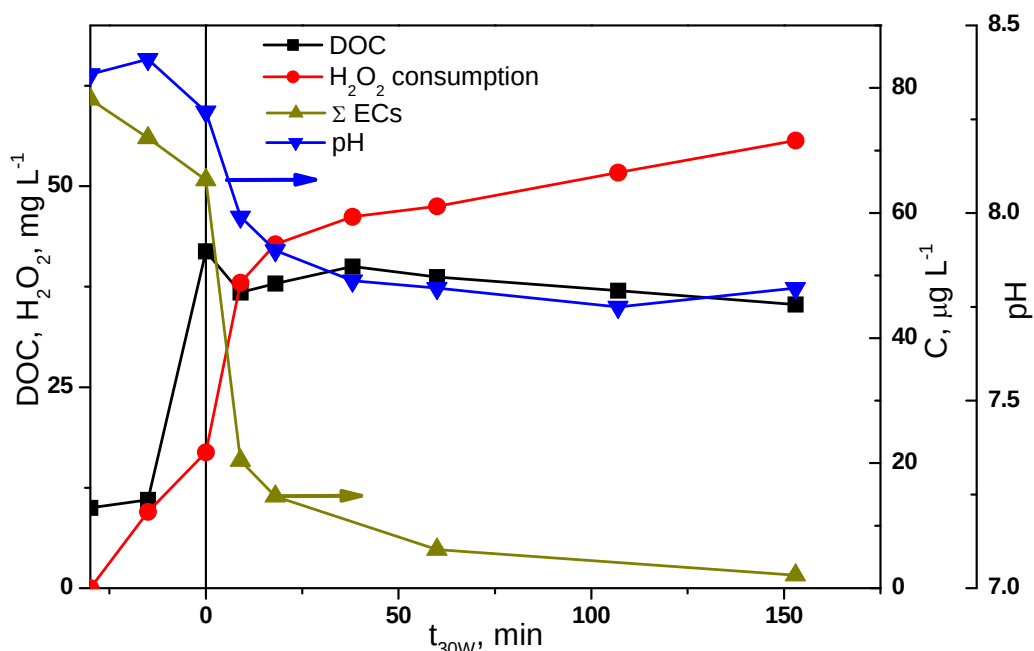


Figura 6.1. Foto-Fenton a pH neutro, 0.2 mM EDDS en efluente de EDAR sin modificar pH y con carbonatos. $5 \text{ mg L}^{-1} \text{ Fe}$, $50 \text{ mg L}^{-1} \text{ H}_2\text{O}_2$, 15 compuestos a $5 \mu\text{g L}^{-1}$ cada uno.

Abstract. For this annuity, the scope of the analytical methods has expanded including drugs of abuse and their relevant metabolites. A simple methodology has been applied that avoids the pretreatment step of the samples, making direct injection of the sample in a highly sensitive LC-MS/MS system. This same methodology has been applied in a thorough study of the behaviour of a group of pollutants selected for their interest in wastewater (nicotine, caffeine, cotinine, nicotinic acid, paraxanthine and trigonelline). It was found that all of them were present in wastewater effluents at concentrations of $\mu\text{g} / \text{L}$, thus reaching natural waters. Presence in river water at concentrations between 23 and 524 ng / L has been confirmed. The results obtained show that these compounds can be considered as suitable indicators of water contamination by human activities, as a consequence of its continued entry into the aquatic environment. It was also developed photo-Fenton treatment able to degrade micro pollutants in municipal wastewater treatment plant (MWTP) effluents at a neutral pH with minimal iron and H_2O_2

concentrations. Complexation of Fe by Ethylenediamine-N,N'-disuccinic acid (EDDS) leads to stabilisation and solubilisation of Fe at natural pH. The rapid degradation of contaminants within the first minutes of illumination and the low detrimental impact on degradation of bicarbonates present in the water suggested that radical species other than HO• are responsible for the efficiency of such photo-Fenton process. Disinfection of MWTP effluents by the same process showed promising results, although disinfection was not complete.

Publicaciones.

Tesis Doctoral. Application of a Solar Photo-Fenton for the Treatment of Contaminants in Municipal Wastewater Effluents. Nikolaus Klammerth. Departamento de Hidrogeología y Química Analítica. Universidad de Almería. 20 de Septiembre de 2011.

Martínez Bueno, M.J., Uclés, S., Hernando, M.D., Fernández-Alba, A.R. Development of a solvent-free method for the simultaneous identification/quantification of drugs of abuse and their metabolites in environmental water by LC-MS/MS, 2011 *Talanta* 85 (1), 157-166 . 2011.

M. I. Polo-López, I. García-Fernández, I. Oller and P. Fernández-Ibáñez. Solar disinfection of fungal spores in water aided by low concentrations of hydrogen peroxide. *Photochem. Photobiol. Sci.*, 2011, 10, 381–388. 2011.

J. Anthony Byrne, Pilar A. Fernandez-Ibanez, Patrick S.M. Dunlop, DheayaM. A. Alrousan and Jeremy W. J. Hamilton. Photocatalytic Enhancement for Solar Disinfection of Water: A Review. *International Journal of Photoenergy*, vol. 2011, 1-12. 2011.

Treatment of municipal wastewater treatment plant effluents with modified photo-Fenton as a tertiary treatment for the degradation of micro pollutants and disinfection. Nikolaus Klammerth, Sixto Malato, Ana Agüera, Amadeo Fernández-Alba, Gilles Mailhot. *Env. Sci. Technol.*, DOI: 10.1021/es204112d.

Ozone-based reclamation of an STP effluent, Rodríguez, A., Rosal, R., Gomez, M.J., García-Calvo, E., Fernandez-Alba, A.R. *Water Science and Technology* 63 (10), 2123-2130, 2011.

Gómez-Ramos, M.d.M., Mezcuca, M., Agüera, A., Fernández-Alba, A.R., Gonzalo, S., Rodríguez, A., Rosal, R. Chemical and toxicological evolution of the antibiotic sulfamethoxazole under ozone treatment in water solution, *Journal of Hazardous Materials*, 192, 18-25, 2011.

Gómez, M.J., Herrera, S., Solé, D., García-Calvo, E., Fernández-Alba, A.R. 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* 83 (7), pp. 2638-2647. 2011.

Klammerth, 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* 161 (1), 241-246. 2011.

Pérez-Parada, A., Agüera, A., Del Mar Gómez-Ramos, M., García-Reyes, J.F., Heinzen, H., Fernández-Alba, A.R. Behavior 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* 25 (6), 731-742, 2011.

Martínez-Bueno, M.J., Uclés, S., Hernando, M.D., Dávoli, E., Fernández-Alba, A.R. Evaluation of selected ubiquitous contaminants in the aquatic environment and their transformation products. A pilot study of their removal from a sewage treatment plant, *Water Research* 45 (6), 2331-2341, 2011.

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, 2011.

Hernando, M.D., Rodríguez, A., Vaquero, J.J., Fernández-Alba, A.R., García, E. Environmental risk assessment of emerging pollutants in water: Approaches under horizontal and vertical EU legislation. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 41 (7), 699-731, 2011.

María del Mar Gómez-Ramos, Andrés Pérez-Parada, Juan F. García-Reyes, Amadeo R. Fernández-Alba, Ana Agüera. Use of an accurate-mass database for the systematic identification of transformation products of organic contaminants in wastewater effluents. *J. Chromatogr. A*, 1218, 8002–8012, 2011.

Javier Santiago, Ana Agüera, María del Mar Gómez-Ramos, Amadeo R. Fernández Alba, Eloy García-Calvo, Roberto Rosal. Oxidation by-products and ecotoxicity assessment during the photodegradation of fenofibric acid in aqueous solution with UV and UV/H₂O₂. *J. Hazard. Mat.*, 194, 30–41, 2011.

S. Malato. Removal of emerging contaminants from UWWTPs by solar driven AOPs. Emerging contaminants and microorganisms into the environment: contamination pathways, health effects and control. Univ. of Salerno, Italy. June 24th 2011. Oral.

S. Malato, P. Fernández-Ibáñez, M.I. Maldonado, I. Oller, A. Zapata. Decontamination and Disinfection of Water by Solar Photocatalysis for Water Reclamation and Reuse. 8th IWA Int. Conf. on Water Reclamation & Reuse. Barcelona, 26-29 Sept 2011. Book of abstract, pp. 85-86. Oral.

6.2. 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: A. Agüera (aaguera@ual.es); M. I. Maldonado (mignacio.maldonado@psa.es); J. A. Sánchez (jsanchez@ual.es)

Fuente de financiación: Ministerio de Economía y Competitividad. CTQ2010-20740-C03-03

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

Situación: En curso.

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 las en 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 2011. Se ha trabajado en el diseño de estrategias de análisis para la caracterización química de los efluentes de la EPO colaboradora del proyecto *Cítricos del Andarax, S.A.* y su aplicación en un plan de muestreo de un año. El protocolo de análisis seleccionado se muestra en la Fig.6.2 e incluye la aplicación de diversas técnicas de extracción (SPE, LLE) y análisis (LC-MS, GC-MS) a fin de cubrir la determinación del mayor número de compuestos posible. La Fig. 6.3 muestra el sistema de tratamiento biológico (SBR) instalado en la EPO, así como un detalle de los puntos en los que se realizaron los muestreos, tanto del agua residual bruta (tanque de homogenización) como del agua depurada previa a su vertido. En el pie de figura también se resumen las características de funcionamiento del sistema. El plan de muestreo se diseñó teniendo en cuenta la actividad de la empresa a fin de obtener resultados representativos en cuanto a presencia y concentración de compuestos y su evolución temporal. Se establecieron 4 periodos de muestreo que coincidieron con el procesado de cítricos para elaboración de zumos (febrero-marzo); el procesado de hortalizas para la elaboración de gazpacho (julio) y la elaboración de caldos y cremas (diciembre). En cada uno de esos periodos se tomaron muestras a la entrada y salida del tratamiento biológico (SBR) durante una semana. Se observó una variación de la composición del efluente en función de la actividad de la empresa durante cada periodo. Los compuestos identificados fueron en su mayoría plaguicidas. Se estudió la eficacia del tratamiento biológico aplicado en la empresa, evidenciándose que los contaminantes identificados no son eliminados, estando presentes en los efluentes en concentraciones en el rango de 6-3260 ng/L. La Fig. 6.4 muestra la reducción, en términos de carga total (ng/l) de contaminantes orgánicos presentes, experimentada durante el tratamiento biológico.

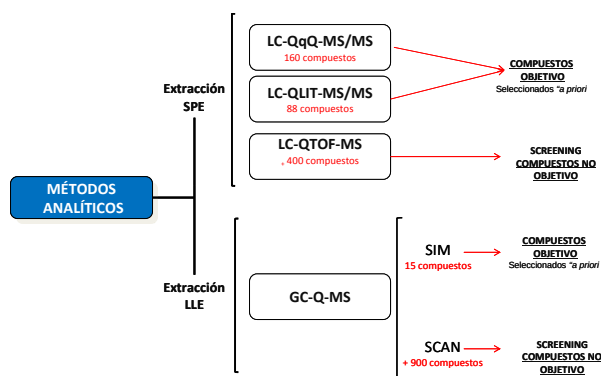


Figura 6.2. Resumen del protocolo de análisis aplicado a la caracterización de las aguas residuales de Cítricos del Andarax, S.L..



Figura 6.3. Sistema de depuración biológico (SBR) localizado en Cítricos del Andarax, S.L. Detalle de los puntos de muestreo de los tanques.

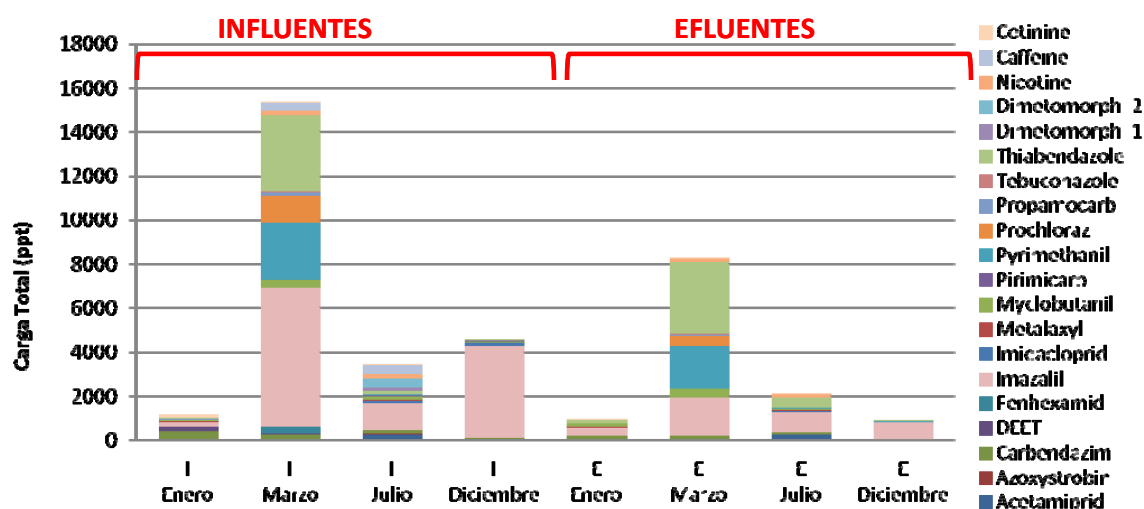


Figura 6.4. Disminución de la carga total de contaminantes durante el tratamiento biológico (SBR) en las campañas de muestreo realizadas.

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. During 2011, an analytical procedure has been developed for the comprehensive characterization of the organic micropollutants present in the wastewater effluent of a company engaged in food processing (production of juices, gazpacho or creams). The selected protocol (Fig.6.2) includes the application of several techniques of extraction (SPE, LLE) and analysis (LC-MS, GC-MS) to cover the determination of the highest number of possible compounds. This analytical procedure was applied in a one year monitoring program designed to include the different periods of production of the company in order to obtain representative data regarding the presence and concentration of compounds and its temporal evolution. In each of these periods, samples were taken at the inlet and outlet of the biological treatment (SBR) for one week. The variation of the composition of the effluent was in line with the activity of the company during each period. The identified compounds were mostly pesticides. The efficacy of biological treatment applied by the company was studied, proving that the identified contaminants are not removed, being present in effluents at concentrations in the range of 6-3260 ng / L. Figure 6.4 shows the reduction in terms of total load (ng / l) of organic contaminants, experienced during the biological treatment.

Publicaciones.

M.M. Gómez-Ramos, A. Pérez-Parada, J.F. García-Reyes, A.R. Fernández-Alba, A. Agüera. Use of an accurate-mass database for the systematic identification of transformation products of organic contaminants in wastewater effluents. *J. Chromatogr. A*, 1218, 8002-8012. (2011)

7. Eficiencia Energética en la Edificación

Principales objetivos

- ✓ Evaluación térmica de edificios: analizar técnicas bioclimáticas en el diseño de edificios para ahorrar energía sin disminuir el confort térmico, determinar las características térmicas propias de cada edificio, validar modelos de simulación energética de edificios.
- ✓ Dimensionado de instalaciones solares: calcular su integración dentro del edificio reducir la demanda energética, analizar el acoplamiento de las distintas instalaciones (solares, convencionales y renovables en general)
- ✓ Actividades de Enseñanza y difusión: promocionar actividades para cambiar la mentalidad acerca del consumo de energía en el ámbito de la edificación, difundir estos conocimientos entre los profesionales del sector.

Main objectives

- ✓ *Thermal assessment of buildings: applying bioclimatic techniques for energy saving keeping comfort standards, assessment thermal characteristics of each building, modelling energetic behaviour of buildings.*
- ✓ *Designing and integration of solar installations in buildings, analysing the combination of different solar, conventional and renewables in general.*
- ✓ *Disseminating and teaching for promoting energy saving concepts for constructing buildings, specially focused on stakeholders.*

Investigadores principales

Prof. Francisco Javier Batlles. Ver sección 5.

Dra. Maria Jose Jimenez Taboada. Doctora en Ciencias Físicas. En la actualidad Científico Titular del CIEMAT, habiendo participado desde 1992 en proyectos de I+D desarrollados por la Unidad de Eficiencia Energética en la Edificación, llevando a cabo tareas de implementación de sistemas de adquisición de datos, sensores e instrumentación y análisis de datos experimentales mediante métodos dinámicos de identificación de sistemas para evaluación Energética de Componentes Constructivos y Edificios en condiciones reales de uso. Responsable de Laboratorio de Ensayos Energéticos para Componentes de la Edificación (LECE) del CIEMAT y representando al CIEMAT en el grupo Europeo PASLINK EEIG y la red DYNASTEE. Jefa de Grupo sobre Análisis Energético Experimental de Edificios y Componentes Constructivos en la Unidad de Eficiencia Energética en la Edificación del CIEMAT. Representante Español en el Comité Ejecutivo del Programa “Solar Heating and Cooling (SHC)” de la Agencia Internacional de la Energía (IEA). Participando en el Grupo de Trabajo 13 (WG13) del Comité Técnico 89 (TC89) del Comité Europeo de Normalización (CEN). Grupo elaborando norma europea sobre ensayos térmicos in-situ, de componentes sistemas constructivos, y edificios. Participando en el Annex 58 del Programa “Energy Conservation in Buildings and Community Systems (ECBCS)” de la IEA sobre “Caracterización del comportamiento energético de edificios basado en medidas dinámicas a escala real” siendo Co-lider de Subtarea 3 sobre “Análisis dinámico y caracterización”. Desde 2005, 11 artículos publicados en revistas indexadas SCI, 17 comunicaciones a congresos internacionales, 16 comunicaciones a congresos nacionales. Dirección de una tesis doctoral finalizada y 3 en desarrollo.

Heads of research.

Prof. Francisco Javier Batlles. See section 5.

Dra. Maria Jose Jimenez Taboada. *She has a PhD in Physics Sciences. At present she is senior scientist at CIEMAT, she has participated since 1992 in R&D projects developed by the Buildings Energy Efficiency Unit, carrying out the implementation of data acquisition systems, sensors and instrumentation and analysis of experimental data by means of dynamic methods and systems identifications techniques for energy evaluation in real conditions of building components and buildings. Responsible of the laboratory for building components energy tests (LECE) of CIEMAT and representing CIEMAT in the European group PASLINK and DYNASTEE network. She is the Head of CIEMAT group for Experimental Energy Analysis in Buildings and Building Components. She is the Spanish representative in the Executive Committee of the “Solar Heating and Cooling (SHC)” of the International Energy Agency (IEA). She participates in the Working Group 13 (WG13) of the Technical Committee 89 (TC89) of the European Standardization Committee (CEN). This group is elaborating an European Standard for in-situ thermal tests of building components systems, and buildings. She is participating in Annex 58 of the program “Energy Conservation in Buildings and Community Systems (ECBCS)” of the IEA on “Reliable Building Energy Performance Characterisation based on Full Scale Dynamic Measurements” being Co-leader of Subtask 3 on “Dynamic Data Analysis and Performance Characterisation”. She has written 11 papers in scientific journals since 2005. She is the director of one PhD dissertation concluded and three undergoing.*

7.1 PROYECTO SINGULAR ESTRÁTEGICO ARFRISOL.

Participantes: Grupo Eficiencia Energética en la Edificación (CIESOL) y Consorcio (coordinado por CIEMAT) de las siguientes instituciones:

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

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 2011: Durante este año se han realizado las siguientes tareas.

Análisis de un sistema de evacuación del calor utilizando agua del subsuelo. Se estudió 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 trata de una instalación que consta en dos pozos excavados a la profundidad de 20 metros y separados con una distancia de 100 metros y un intercambiador de placas contracorriente situado en el edificio CIESOL y a través del cual se produce el enfriamiento del agua procedente de la máquina de absorción. 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. Durante el año 2011 se realizaron varios ensayos con el fin de comparar ambos sistemas de disipación de calor. Se ha visto que el sistema de disipación de calor que utiliza el agua del subsuelo mejora la eficiencia del sistema de frío solar, reduciendo su demanda final de electricidad y agua desmineralizada. Los resultados obtenidos ponen de manifiesto que durante un periodo de refrigeración dicho sistema utiliza 30% menos de electricidad que la torre de refrigeración y, además permite ahorrar unos 116 m³ de agua desmineralizada. Los principales resultados de este estudio se reflejan en la publicación “Shallow geothermal energy applied to a solar-assisted air-conditioning system in southern Spain: two-year experience” (Rosiek and Batlles, 2011).

Modelización de una máquina 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 máquina de absorción de simple efecto alimentada únicamente por agua caliente procedente de los 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 0.7 % 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 máquina de absorción alimentada por energía energía acumulada en los depósitos de agua caliente, teniendo en cuenta exclusivamente las variables más importantes, tales como: temperaturas del generador, evaporador y del segundo depósito. 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 el artículo “Performance study of solar-assisted air-conditioning system provided with storage tanks using artificial neural networks” (Rosiek and Batlles, 2011).

Análisis exergético de la instalación. En los últimos tiempos se ha puesto de manifiesto la importancia de desarrollar sistemas térmicos que hagan un uso efectivo y racional de la energía. En este sentido un problema fundamental de las instalaciones es localizar aquellos dispositivos que tengan pérdidas considerables de energía. El método del análisis es especialmente adecuado para conseguir un uso de los recursos energéticos de la forma más eficiente, pues permite determinar la localización, tipo y magnitud real de su despilfarro y pérdida. Esta información puede utilizarse en el diseño de los sistemas térmicos y permite guiar los esfuerzos por reducir las fuentes de ineficiencia en los sistemas térmicos existentes. Se analizó la eficiencia exergética de los diferentes dispositivos de la instalación, determinando las mejores condiciones de su operación. Se propuso el método del análisis exergético para conseguir un uso de los recursos energéticos de la forma más eficiente, siendo una herramienta muy útil para evaluar y ante todo mejorar el funcionamiento del sistema de refrigeración solar. Resultados de dicho estudio se muestran en el trabajo “Exergy analysis of solar-assisted air-conditioning system”, (Rosiek and Batlles, 2011).

Análisis del sistema del almacenamiento de agua fría. Se llevó a cabo el estudio de un sistema de almacenamiento y distribución de agua fría. Este sistema forma parte de la instalación de frío y calefacción solar y, consta en dos tanques de almacenamiento de 2000 y 3000 litros, respectivamente y una bomba de caudal variable. Tras analizar los ciclos de funcionamiento de la máquina de absorción, se ha puesto de manifiesto la necesidad de incorporar un sistema de almacenamiento de frío para evitar las paradas de la misma, que tienen lugar cuando la temperatura de salida del evaporador es del orden de los 6 °C. Dicho sistema de almacenamiento también nos sirve para cubrir la demanda de refrigeración en aquellos casos en los que no tenga ningún tipo de energía térmica y para anticipar el abastecimiento de agua fría en el edificio en los primeros momentos del arranque de la máquina de absorción. Con el fin de introducir un nuevo modo de operación del sistema de refrigeración solar, se realizó una modificación adicional en los fan-coils y se acopló también un variador de frecuencia para la bomba de circulación. Dicha modificación permite, en momentos de poca carga de refrigeración registrada en el edificio, utilizando únicamente la bomba de caudal variable, recircular agua fría entre los tanques de almacenamiento y las dependencias del edificio. Se modificó el algoritmo del control y se realizó un estudio comparativo entre el funcionamiento del sistema de refrigeración solar con acoplamiento de tanques fríos y otro sin tanques. Los resultados obtenidos ponen de manifiesto que el nuevo modo de operación, que implica el funcionamiento de los tanques de frío, permite disminuir el consumo de electricidad del orden de un 20% y un 30% de agua desmineralizada a lo largo de un periodo de refrigeración. Los resultados de este estudio se reflejan en el artículo

“Performance evaluation of solar-assisted air-conditioning system with chilled water storage (CIESOL building)” (Rosiek and Batlles, 2011).

La evaluación y modelización energética del sistema de refrigeración y calefacción solar instalado en el edificio CIESOL. En una primera parte del trabajo se analizó el comportamiento termodinámico del sistema de climatización tanto en el modo de calefacción como en el de refrigeración. Posteriormente se modelizó la instalación, utilizando Redes Neuronales Artificiales con el objetivo de predecir el coeficiente de operación y la capacidad frigorífica de la máquina de absorción minimizando a su vez el coste inicial de la monitorización del sistema estudiado. Por otro lado se propuso el método del análisis exergético para conseguir un uso de los recursos energéticos de la forma más eficiente. Finalmente se realizó una evaluación del impacto ambiental a partir del Análisis de Ciclo de Vida de nuestra instalación solar comparándola con una convencional. Dicho estudio se realizó en términos de ahorro de energía, ahorro de emisiones de contaminantes a la atmósfera y en términos de la vida de la instalación. Resultados obtenidos permiten la optimización del funcionamiento del sistema analizado y promuevan su aplicación en la edificación. Los principales hallazgos de este estudio se recogen en la tesis doctoral “Characterization and modelling of solar-assisted air-conditioning system using Artificial Neural Network : CIESOL building”, defendida en julio de 2011 por Da. Sabina Rosiek y dirigida por D. Francisco Javier Batlles Garrido, Investigador Principal de este proyecto.

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 (MINECO 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 Sabina, “Characterization and modelling of solar-assisted air-conditioning system using Artificial Neural Network : CIESOL building”. Tesis Doctoral. Universidad de Almería 2011.

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* 34 (2011) 1446-1454.

Rosiek, S., Batlles, F.J. Performance evaluation of solar-assisted air-conditioning system with chilled water storage (CIESOL building). *Energy Conversion and Management* 55 (2011) 81-92.

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 VI Master (Curso Académico 2011-2012)

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.

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

La segunda es un apoyo decidido a la producción de electricidad mediante energía solar, tanto térmica como fotovoltaica. Entre los diferentes proyectos relacionados con la energía solar existentes en Almería, cabe destacar el AFRISOL y las centrales de producción de electricidad mediante colectores cilindro-parabólicos. Este Master nace del interés común de los organismos participantes en potenciar el área de energía solar y de la necesidad cada vez más acusada que esta sociedad tiene de disponer de profesionales con una formación específica de estas tecnologías. Implantar el Master en la Universidad de Almería es consecuencia del entorno privilegiado en donde ésta se encuentra, ya que la situación geográfica de la provincia de

Almería la convierte en un enclave de gran futuro en el campo de la energía solar y también ha sido pionera en el empleo de este tipo de desarrollo

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

Resultados durante 2011: El comienzo del curso 2010-2011 tuvo lugar el día 19/10/2010. En esta edición el Master contó con 8 alumnos. Durante este curso académico los alumnos realizaron un trabajo fin de master.

Anexo 2

ACTIVIDADES DE TRANSFERENCIA

Conferencias, jornadas y otros eventos organizados o con participación de investigadores del centro:

1.	Taller de preparación de propuestas para el programa de Regiones del Conocimiento. 15 de febrero de 2011 Universidad de Córdoba
2.	Taller práctico de preparación de propuestas al VIII Programa Marco, sector medio ambiente. 19 de mayo de 2011 Universidad de Almería.
3.	Jornada de la Mesa de Energía y Sostenibilidad. Fundación Mediterránea. 31 de mayo de 2011 Foro de innovación Universidad-Empresa. Almería
4.	Plataforma Tecnológica Nacional SOLAR CONCENTRA. Jornada de Presentación. 21 de junio de 2011, Madrid. Asamblea General. 30 de noviembre de 2011, Sevilla
6	Seminario de Comercio Internacional. El modelo Almería de Energías Renovables 18 de octubre de 2011, Cámara de Comercio de Almería. Almería.
7.	I Jornadas sobre nuevas tecnologías Energéticas. 13 de diciembre de 2011. PITA y CTAER Almería
8.	IV ciclo de conferencias sobre eficiencia energética y sostenibilidad (Máster universitario en eficiencia energética y sostenibilidad en instalaciones industriales y edificación). Escuela Superior de Tecnología y Ciencias Experimentales, Universitat Jaume I. 16 Mayo 2011.
9.	La energía solar como aliada en la regeneración de agua. Semana de la Ciencia 2011, Univ. Politécnica de Valencia. 7 Noviembre 2011
10.	Descontaminación de agua mediante energía solar. Desarrollo, aplicaciones y expectativas. Simposio de Investigación en Ciencias Experimentales, Univ. de Almería. 15 Noviembre 2011.
11.	Energía solar en el tratamiento de aguas. Presente y perspectivas de futuro. Univ. de

	Zaragoza. 16 Diciembre 2011.
12.	Visita al centro de alumnos de un curso “Energía Solar Fotovoltaica en Instalaciones Agrarias “. 12 de febrero de 2011. Curso de Formación Profesional Ocupacional.
13.	Visita al Centro por parte de los alumnos del Programa Superior de Energía Renovables. 10 de mayo de 2011. Cámara de Comercio de Almería.
14.	Participación en la segunda semana internacional de la UAL, visita coordinadores programa ERASMUS de distintas universidades europeas. 16-20 de mayo de 2011.
15.	Visita al centro por parte de profesores de FP, participantes del curso “Emprendedores en el nuevo modelo de energía sostenible: empresas de EERR y empresas de servicios energéticos”. Cámara de Comercio de Almería. 26 de julio de 2011
16.	Semana de la Ciencia 2011, OTRI Universidad de Almería, 8-11 de noviembre de 2011
17.	Visita al centro de un grupo taller del curso “Energía Solar Térmica” 2 de diciembre de 2011. Casa de Oficios de Tabernas. Curso de Formación Profesional Ocupacional.

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