



SOLAR ENERGY RESEARCH CENTER
JOINT INSTITUTE UAL-PSA CIEMAT

CIESOL

Centro de Investigación en Energía Solar
Instituto Mixto UAL-PSA-CIEMAT

INFORME ANUAL
ANNUAL REPORT

2014



CIESOL

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



*SOLAR ENERGY RESEARCH CENTER
JOINT INSTITUTE UAL-CIEMAT*

Título del documento:

INFORME DE ACTIVIDADES CIESOL 2014

CIESOL ANNUAL REPORT 2014



CIESOL es un centro estable de carácter público, sin personalidad jurídica propia, dotado 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.



www.ciesol.es

Referencia: CIESOL-2014-Dirección-01

Nº de páginas: 123

Revisión: A

Fecha: 16 abril 2015

Autor(s): Dr. Manuel Pérez García (UAL)
Dr. Antonio Romerosa Nievas (UAL)
Dra. Ana Agüera López (UAL)
Dr. José A. Sánchez Pérez (UAL)
Dr. Manuel Berenguel Soria (UAL)
Dr. Jose M. Fernández Sevilla (UAL)
Dr. Javier Batlles Garrido (UAL)
D. Octavio Malato Rodríguez (CIESOL)

Dr. Sixto Malato Rodríguez (PSA)
Dr. Christoph Richter (DLR-PSA)
Dra. Isabel Oller Alberola (PSA)
Dr. Manuel I. Maldonado Rubio (PSA)
Dr. Luís Yebra Muñoz (PSA)
Dr. Guillermo Zaragoza del Aguila (PSA)
Dra. Sabina Rosiek (CIESOL)
Dña. Inmaculada Pizarro Riñones (CIESOL)

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN Y RESUMEN EJECUTIVO	1
2. ACTIVIDADES DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR (CIESOL)	5
2.1 ACTIVIDADES EN "QUÍMICA SOSTENIBLE: ORGANOMETÁLICA Y FOTOQUÍMICA"	5
2.1.1 Líneas estratégicas del grupo	5
2.1.2 Investigadores principales del grupo	5
2.1.3 Miembros del grupo	7
2.1.4 Sistemas polimetálicos poliméricos derivados de las fosfinas solubles en agua PTA y dmoPTA	8
2.1.5 Nueva factoría del futuro segura, inteligente y sostenible de desmilitarización y tecnologías de defensa-SIXTREMS	11
2.1.6 Transferencia y Actividades Complementarias	12
2.2 ACTIVIDADES EN "EVALUACIÓN ANALÍTICA DE TRATAMIENTOS DE AGUAS Y ANÁLISIS AMBIENTAL"	13
2.2.1 Líneas estratégicas del grupo	13
2.2.2 Investigadores principales del grupo	13
2.2.3 Miembros del grupo	15
2.2.4 Caracterización y tratamiento de aguas residuales de distinto origen (lixiviados de vertedero y efluentes de la industria del corcho)	16
2.2.5 Reducción de costes del proceso foto-Fenton solar mediante reactores extensivos abiertos para la regeneración de aguas (REAQUA)	19
2.2.6 SFERA II: Photochemical degradation of carbapenem antibiotics in aqueous solutions under solar irradiation	22
2.2.7 Transferencia y Actividades Complementarias	24
2.3 ACTIVIDADES EN "TECNOLOGÍAS AVANZADAS PARA LA REGENERACIÓN DE AGUAS"	26
2.3.1 Líneas estratégicas del grupo	27
2.3.2 Investigadores principales del grupo	27
2.3.3 Miembros del grupo	28
2.3.4 Combinación de tecnologías intensivas para la mejora de la calidad de los efluentes acuosos en PYMES. Diseño de un proceso integrado (AQUAPYME)	30
2.3.5 Diseño de nuevos reactores para foto-Fenton solar aplicados a la regeneración de aguas. Economía, escalado y control del proceso (SULAYR)	33
2.3.6 Reducción de costes del proceso foto-Fenton solar mediante reactores extensivos abiertos para la regeneración de aguas (REAQUA)	36
2.3.7 SFERA II. Photochemical degradation of carbapenem antibiotics in aqueous solutions under solar irradiation	37
2.3.8 Regeneración mediante energía solar de las aguas residuales de la guardería de la Universidad de Almería	38
2.3.9 Optimización del proceso de tratamiento de aguas ácidas mediante membranas (ósmosis inversa)	39
2.3.10 Aplicación de la energía solar térmica a la desalación	40
2.3.11 Transferencia y Actividades Complementarias	42
2.3.12 Otros	42
2.4 ACTIVIDADES EN MODELADO Y CONTROL AUTOMÁTICO	44

2.4.1 Líneas estratégicas del grupo.	44
2.4.2 Investigadores principales del grupo	44
2.4.3 Miembros del grupo	46
2.4.4 Estrategias de control y gestión energética en entornos productivos con apoyo de energías renovables (ENERPRO – Control and energy management strategies in production environments with support of renewable energy)	48
2.4.5 Simulación y control de instalaciones termosolares de captadores cilindroparabólicos en aplicaciones industriales y de refrigeración	55
2.4.6 Modelado, simulación, control y optimización de fotobioreactores-MACROBIO	60
2.4.7 Control del crecimiento de cultivos bajo invernadero optimizando criterios de sostenibilidad, económicos y de eficiencia energética (CONTROLCROP)	64
2.4.8 Biogreen: Modelo avanzado de producción en invernaderos	68
2.4.9 Puesta en funcionamiento y evaluación técnica y energética de un novedoso lazo híbrido de generación térmica (solar y biomasa) para climatización de invernaderos semi-cerrados	70
2.4.10 Transferencia y Actividades Complementarias	72
2.5 ACTIVIDADES EN EVALUACIÓN DEL FRIO SOLAR	76
2.5.1 Líneas estratégicas del grupo.	76
2.5.2 Investigadores principales del grupo	76
2.5.3 Miembros del grupo	77
2.5.4 Predicción a corto plazo de la nubosidad utilizando técnicas de teledetección y de tratamiento de imágenes	78
2.5.5 Optimización para la industrialización de la predicción de nubes en campos solares	81
2.5.6. Módulo piloto polivalente para evaluación, optimización y mejora de los sistemas de fríoconservación agroalimentaria con energías renovables	84
2.5.7. Mejora de procesos agroalimentarios de fríoconservación y postcosecha desde el punto de vista cualitativo, energético y económico	85
2.5.8 Transferencia y Actividades Complementarias	86
2.6 ACTIVIDADES EN DESALACIÓN Y FOTOSÍNTESIS	87
2.6.1 Líneas estratégicas del grupo	87
2.6.2 Investigadores principales del grupo	88
2.6.3 Miembros del grupo	89
2.6.4 Zero Carbon Resorts (ZCR)	90
2.6.5 Investigación de tecnologías de tratamiento, reutilización y control para la sostenibilidad futura de la depuración de aguas residuales (ITACA)"	93
2.6.6 Modelling, SimulAtion, ContRol and OptimizatiOn of photoBIOreactors (MACROBIO)"	96
2.6.7 Nuevos tratamientos para la mejora en la calidad de las aguas ácidas de la minería (TAAM)	97
2.6.8 Improving the Performance of Concentrating PV by Exploiting the Excess Heat through a Low Temperature Supercritical Organic Rankine Cycle (CPV/RANKINE)	98
2.6.9 Management of mine water discharges to mitigate environmental risks for post-mining period (MANAGER)	100
2.6.10 Transferencia y Actividades Complementarias	101
3. INFRAESTRUCTURAS Y CAPACIDADES CIENTÍFICO-TECNOLÓGICAS DEL CENTRO	102
3.1 UNIDAD TÉCNICA	102

3.2 INSTALACIONES E INFRAESTRUCTURAS DEL AREA DE APROVECHAMIENTO QUÍMICO DE LA ENERGÍA SOLAR _____	105
3.3. INSTALACIONES E INFRAESTRUCTURAS DEL AREA DE APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE LA ENERGÍA SOLAR _____	108
3.4 CAPACIDADES TÉCNICAS DEL CENTRO _____	120
3.4.1. Capacidades del área de aprovechamiento químico de la energía solar. _____	120
3.4.2. Capacidades del área de aprovechamiento energético de la energía solar. _____	120
4. COMITÉS Y RESPONSABLES DE ACTIVIDADES. _____	122
4.1 DIRECCIÓN DEL CENTRO _____	122
4.2 RESPONSABLES DE ACTIVIDADES _____	122
4.3 COMITÉ DE COORDINACIÓN _____	123
4.4 COMITÉ CIENTÍFICO _____	123

1. INTRODUCCIÓN Y RESUMEN EJECUTIVO

A lo largo de 2014 el CIESOL, centro mixto de investigación de la Universidad de Almería y el Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas, CIEMAT del Ministerio de Economía y Competitividad ha alcanzado su noveno año de actividades. Durante 2015 se cumplirá pues el periodo de vigencia de diez años del convenio firmado por ambas instituciones para la creación y gestión del centro que, de acuerdo a la cláusula establecida a tal fin el mismo, deberá ser renovado a lo largo de los primeros meses de dicha anualidad. De hecho, ambas instituciones ya han expresado su interés en continuar la colaboración y el acuerdo se renovará durante el primer trimestre de 2015.

El centro, emplazado en área norte del Campus de la Universidad de Almería, ocupa un edificio operativo desde enero de 2006, construido gracias a la financiación de fondos FEDER de apoyo a infraestructuras científicas europeas y constituye además un contenedor-demostrador de diferentes técnicas de acondicionamiento activo y pasivo de edificios implantadas y estudiadas a lo largo del desarrollo entre los años 2006 y 2012 del Proyecto Nacional de Carácter Singular y Estratégico sobre Arquitectura Bioclimática y Frío Solar ARFRISOL.

En el centro se realizan actividades de investigación y de transferencia tecnológica relacionadas con las aplicaciones de la energía solar en las siguientes áreas: la química sostenible, la regeneración de aguas, el análisis ambiental, el modelado y el control automático de instalaciones solares, la domótica orientada a la eficiencia energética, el frío solar y la evaluación de recursos solares a las que, en la anualidad de 2014 se ha incorporado una nueva unidad funcional con la denominación "Fotosíntesis y Desalación".

Durante 2014, 51 investigadores han participado proyectos y contratos adscritos al CIESOL, 20 de ellos con ubicación permanente en sus laboratorios y despachos a lo largo de todo este periodo. Las actividades de estos investigadores han estado enmarcadas en 12 proyectos de convocatorias competitivas oficiales (Plan Nacional de Investigación y Programa Andaluz de Incentivos a los Agentes del Conocimiento), 9 contratos con empresas e instituciones y 5 proyectos europeos.

En cuanto a la producción científica, gracias a la incorporación de la nueva unidad funcional anteriormente mencionada y al incremento general de la actividad en este ámbito de las existentes, se ha alcanzado un total de 81 publicaciones indexadas en el *Journal Citation Report*, lo que supone aproximadamente un 25% más con relación a la anualidad anterior. Todas las unidades han participado en congresos y reuniones científicas así como se han realizado actividades de transferencia, habiendo derivado algunas de ellas bien en contratos específicos, como los relacionados con el proyecto BIOGREEN, o bien en la formación de consorcios y la posterior participación en convocatorias nacionales o internacionales que deberán resolverse a lo largo de 2015.

En este último ámbito, se han formalizado un total de 5 propuestas de proyectos, 1 de ellas a la convocatoria LIFE+ y el resto, a diferentes calls de H2020, con especial énfasis en el programa *Secure, Clean and Efficient Energy*

Junto a la información detallada que se hará en los capítulos posteriores por parte de las unidades funcionales y de los servicios técnicos, en este resumen inicial de las actividades a lo largo de 2014 se destacan los siguientes hitos:

Incorporación de la unidad funcional de Desalación y Fotosíntesis:

Esta nueva unidad del CIESOL recoge la colaboración previa entre investigadores del Área de Ingeniería Química de la Universidad de Almería, que aporta 7 investigadores, y de la Unidad de Desalación Solar de la Plataforma Solar de Almería, que aporta 3 investigadores. Como aspectos particulares pueden citarse en primer lugar el hecho de que sus áreas de especialización son perfectamente integrables en las líneas de actuación del CIESOL y favorecerán la transversalidad y colaboración con el resto de unidades del centro y, en segundo lugar, que la nueva unidad acredita una contrastada y amplia experiencia en proyectos internacionales.

Inicio de movilidades y colaboraciones en el proyecto SFERA-2



Después de su incorporación en 2013 a la oferta de instalaciones al proyecto europeo Solar Facilities for the European Research Area (SFERA-2), se ha producido la primera convocatoria y la primera selección de candidaturas para la realización de movilidades de equipos de investigación europeos para la utilización de laboratorios del CIESOL. Se han recibido 5 candidaturas procedentes de Reino Unido, Hungría, Portugal, Grecia y Portugal. Después de un proceso de selección realizado en abril, entre los meses de junio y octubre se produjeron las estancias de investigadores de las universidades de Brescia (Italia) y Creta (Grecia)

Consolidación de los Servicios Técnicos del CIESOL

El equipamiento técnico del centro, a disposición de los proyectos propios y de los servicios a terceros en contratos y colaboraciones, se ha visto incrementado con la incorporación en el área de estudios energéticos con un equipo de tecnología LIDAR para la medida de altura de nubes VAISALA CL-51, instalada en la estación meteo-radiométrica de la azotea del centro. En el área de estudios de las aplicaciones químicas de la energía solar, se han adaptado las infraestructuras de uno de los laboratorios de la planta baja y se ha realizado la instalación en el mismo de un espectrómetro de masas con sistema TripleTOF™ 5600+ de AB SCIEX. Este equipo permitirá una cuantificación de alta resolución de analitos en baja concentración en matrices complejas. Combina la más alta sensibilidad de detección, una elevada resolución, una velocidad de obtención de datos al menos 5 veces superior a cualquier otro instrumento, y una exactitud de masas estable (~1 ppm) a largo plazo.

Programas de prácticas curriculares y estancias de estudiantes:

Más de 20 estudiantes de últimos curso de grado y master han realizado sus prácticas curriculares en el centro a lo largo de 2014, en un porcentaje elevado de la propia Universidad de Almería dentro del programa ICARO, aunque también han participado estudiantes de otras universidades españolas y europeas. Estas prácticas han servido como base para la elaboración de 9 proyectos fin de grado. Aun tratándose de la primera experiencia en este sentido, los resultados en términos de divulgación y transferencia se han considerado muy positivos y a lo largo de 2014 se han establecido nuevos convenios de colaboración para la realización de este tipo de actividades con, entre otras entidades, la Universidad Politécnica de Madrid o el Institut National des Sciences Appliquées INSA de Lyon.

INTRODUCTION AND EXECUTIVE SUMMARY

During 2014, the CIESOL, joint research center of the University of Almeria and the Center for Research Centre on Energy, Environment and Technology, CIEMAT of the Spanish Ministry MINECO has reached its ninth year of operation. In 2015, it will be fulfilled the ten years period of validity of the agreement signed by both institutions for its creation and its management. In accordance to the clause established for that purpose, it must be renewed over the first months of such annuity, being at this moment accepted by both institutions the extension of the specific collaboration for a new ten years period.

The center, located in the north area of the Campus of the University of Almería, occupies a building operational since January 2006, built with funding from ERDF European Support for scientific infrastructures and constitutes a container-demonstrator of different sustainable air-conditioning techniques, thanks to the development between 2006 and 2012 of the National, Strategic and Singular Character Project on Bioclimatic Architecture and Solar Cooling ARFRISOL.

In the center, they are being undertaken research and technology transfer activities related to the following applications of solar energy: sustainable chemistry, water regeneration, environmental analysis, modeling and automatic control of solar systems, home automation oriented energy efficiency, solar cooling and solar resource assessment. In the annuity of 2014, it has been added a new functional unit under the name "Photosynthesis and Desalination".

During 2014, 51 researchers have participated in assigned projects and contracts to CIESOL, 20 of them with permanent location in its laboratories and offices throughout this period. The activities of these researchers have been framed in 12 official competitive grant projects (National Research Plan and Incentive Program Andalusian Agents of Knowledge), 9 contracts with companies and institutions and 5 European projects.

In terms of scientific production, with the addition of the new functional unit mentioned above and the general increase in activity in the existing units, has reached a total of 81 publications indexed in the Journal Citation Report, which is about 25% more compared to the previous annuity. All units have participated in conferences and scientific meetings and technology have been transferred in different workshops, having derived some of them in specific contracts, such as those related to BIOGREEN project, or in the formation of consortia and subsequent participation in calls national or international to be resolved during 2015.

In the latter area, have signed a total of 5 proposals for projects, including 1 the LIFE + call and to various calls of H2020, with special emphasis on program Secure, Clean and Efficient Energy

Along with the detailed information that will be in subsequent chapters of functional units and technical services, in this initial summary of activities throughout 2014 are the following milestones:

Incorporation of the functional unit of desalination and Photosynthesis:

This new unit collects CIESOL previous collaboration between researchers of the Department of Chemical Engineering, University of Almería, which provides 7 researchers, and Environmental Applications Unit of the Plataforma Solar de Almería, which provides 3 investigators. As particular aspects may be mentioned first that their areas of expertise are perfectly integrated in the lines of action of CIESOL and foster the collaboration with other units of the center and, second, that the new unit credits a proven and extensive experience in international projects.

Starting motilities and collaborations in the SFERA-2 project

After its incorporation in 2013 to the European project Solar Facilities for the European Research Area (SFERA-2), there has been the first call and the first selection of candidates for the realization of mobilities of European research teams to laboratories using CIESOL. There have been five applications from UK, Hungary, Portugal, Greece and Portugal. After a selection process in April, between the months of June and October stays of researchers from the Universities of Brescia (Italy) and Crete (Greece) occurred

Consolidation of Technical Services CIESOL

The technical equipment of the center, available to own projects and services to third parties in contracts and collaborations, has been increased with the incorporations of a) a LIDAR equipment to measure cloud height VAISALA CL-51, installed in the meteo-radiometric station located at the roof of the center and b) a mass spectrometer system TripleTOF™ 5600+ AB SCIEX. This equipment will allow a quantification of high-resolution low concentration analytes in complex matrices. It combines the highest detection sensitivity, high resolution, speed of data collection at least 5 times higher than any other instrument, and stable mass accuracy (~ 1 ppm) in the long term.

Students and internships activities:

More than 20 undergraduate and master students and master have made their curricular practices in the center throughout 2014, in a large percentage belonging to the University of Almería in the ICARUS program, although some students have also participated from other Spanish and European universities. These practices have served as a basis for the preparation of 9 to grade projects. In spite of being the first experience in this sense, the results in terms of dissemination and transfer have been considered very positive and throughout 2014 were established new collaboration agreements for increasing carrying out such activities with, among other, the Polytechnic University of Madrid and the Institut National des Sciences Appliquées INSA de Lyon

2. ACTIVIDADES DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR (CIESOL)

2.1 ACTIVIDADES EN “QUÍMICA SOSTENIBLE: ORGANOMETÁLICA Y FOTOQUÍMICA”

Esta unidad se compone de 8 miembros (dos profesores universitarios, tres investigadores, un contrato postdoctoral y dos predoctorales) y está constituida por personal del Grupo de Inv. “Química de Coordinación Organometálica y Fotoquímica” (FQM-317) perteneciente al departamento de Química y Física de la Universidad de Almería, y por un investigador del Centro Aeroespacial de Alemania - Plataforma Solar de Almería (DLR-PSA-CIEMAT). El grupo mantiene fluidos intercambios con otros grupos PAI (Plan Andaluz de Investigación) así como con otros grupos del CIESOL y de otras universidades andaluzas.

La unidad no ha dejado de crecer tanto en proyectos (autonómicos, nacionales e internacionales) como en producción científica (> 150 artículos en revistas químicas de impacto internacionales). Sus intereses iniciales, la síntesis de catalizadores metálicos para la mediación de reacciones fotoquímicas en agua, se ha ido extendiendo a otras áreas como la foto-generación de hidrógeno o la transformación de moléculas pequeñas mediante radiación solar.

2.1.1 Líneas estratégicas del grupo

- 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.
- Transformación de fósforo blanco en rojo, utilizando en energía solar como fuente de energía.

Main research lines

- *New water soluble homo- and hetero-metal-polymers with photocatalytic activity in the synthesis of high impact molecules.*
- *White phosphorus transformation mediated by visible-light irradiation.*

2.1.2 Investigadores principales del grupo

Antonio Manuel Romerosa Nievas (Scopus Author ID 6603792206)

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, (Florencia, 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 110 artículos internacionales, 11 patentes españolas e internacionales y más de 200 presentaciones en congresos nacionales e internacionales. Ha sido responsable de más de 18 proyectos de investigación nacionales, autonómicos y europeos, así como dirigido 13 tesis doctorales, encontrándose dirigiendo 5 más. Es responsable del grupo de la Junta de Andalucía FQM-317.

Antonio Romerosa Nievas (Scopus Author ID 6603792206)

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 Almería (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 110 international refereed papers, 11 Spanish and international patents and made more than 200 presentations at national and international meetings. He has been responsible for more than 15 national research, regional and European projects, was supervisor of 13 PhD and is supervising 5 more. He is responsible of the Junta de Andalucía research team FQM-317.

Christoph Richter (Scopus Author 55439554100)

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), en España; el mayor centro de pruebas para investigación y desarrollo en tecnologías de concentración solar a altas temperaturas. 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.

Christoph Richter (Scopus Author 55439554100)

PhD in Physical Chemistry from the University of Cologne in 1993. In 1994 he began to work in the Department DLR (German Aerospace Center) is at the Plataforma Solar de Almería (PSA-CIEMAT) in Spain, the largest test center for research and development in solar concentrating technologies at high temperatures. Initially working as a project manager in the area of solar chemical in development projects photochemical applications of solar energy in water treatment and fine chemical synthesis. Currently working on different aspects of the operation of solar thermal plants, including heat storage, cooling and environmental impact, and is responsible for administration and infrastructure department of DLR in Almería. Since March 2008, is the Secretary General of Solar PACES.

2.1.3 Miembros del grupo

Antonio Manuel Romerosa Nievas (UAL)



Christoph Richter (DLR-PSA-CIEMAT)



Manuel Serrano Ruiz (UAL)



Franco Scalambra (UAL)



Gaspar Francisco Segovia (UAL)



Sonia Mañas Carpio (UAL)



Cristóbal Saraiba Bello (UAL)



Lourdes Sánchez (UAL)



2.1.4 Sistemas polimetálicos poliméricos derivados de las fosfinas solubles en agua PTA y dmoPTA**Participantes:**

Grupo de Inv. "Química de Coordinación Organometálica y Fotoquímica". Universidad de Almería (FQM-317)

Contactos:

A. Romerosa Nieves (romerosa@ual.es)

C. Richter (christoph.richter@dlr.de)

<http://www.ual.es/GruposInv/FQM-317/>

Fuente de financiación:

Ministerio de Economía y Competitividad. Plan Nacional 2010. (CTQ-2010-20952)

Duración prevista:

Enero 2011- Junio 2014

Situación:

Finalizado

Resumen

Con el proyecto se pretende el desarrollo de toda una familia de complejos polimetálicos poliméricos con aminofosfinas solubles en agua. Los polimetalo-polímeros se caracterizarán por disponer átomos metálicos (Ru, Ag, Au, Pt, Pd) en posiciones estructurales específicas. Los centros metálicos se enlazarán a través de los ligandos PTA y dmoPTA (PTA = 1,3,5-triaza-7-fosfaadamantano; dmoPTA= 3,7-dimethyl-1,3,7-triaza-5-phosphabicyclo [3.3.1]nonane) que favorecerán además que los complejos poliméricos fueran solubles en agua o acuo-compatibles. La conjunción de propiedades, disponer de diversos átomos metálicos distribuidos en una cadena polimérica y ser acuo-soluble, o acuo-compatible, hacen de éstos compuestos, productos químicos altamente novedosos tanto por su estructura como por sus posibles propiedades químicas y físicas. En definitiva, es de esperar que el avance en el conocimiento de la síntesis, la caracterización, la reactividad química y las propiedades físicas de estos complejos aporte la información necesaria para facilitar el desarrollo de los sistemas polimetalo-polímeros y su posible aplicación tecnológica.

Resultados durante 2014:

Durante el 2014 se ha realizado fundamentalmente el estudio de las propiedades químicas y físicas de los compuestos sintetizados en años precedentes. Se han sistemas hetero-polimetálicos, que están presentando propiedades novedosas. Además se han estudiado los complejos que se usan para su síntesis, encontrando que muchos de ellos ya de por sí son muy interesantes por sus propiedades químicas y físicas. Se realizó el estudio del comportamiento de ejemplos característicos mediante difracción de neutrones en el Rutherford-Appleton Lab (U.K.)

Abstract:

The present project is focused to the synthesis and characterization of new poly-metal-polymer complexes containing water soluble amino-phosphines. In the polymeric system the selected metals Ru, Ag, Au, Pt, Pd are located in precise positions and coordinated to the water soluble ligands PTA and dmoPTA (PTA = 1,3,5-triaza-7-fosfaadamantane; dmoPTA= 3,7-dimethyl-1,3,7-triaza-5-phosphabicyclo[3.3.1]nonane) which favour the solubility in water of the polymeric complexes obtained. These complexes are characterized by a new dual polymer and poly-metallic features together with water solubility which likely provide them new and interesting chemical and physical properties unlike to those of the known organometallic complexes. New knowledge on the synthetic procedures and properties of the proposed poly-metal-polymeric

complexes could provide new and important information to understand their properties and their possible innovative technological applications.

Publicaciones:

Revistas:

- Serrano-Ruiz, M., Lidrissi, Ch., Mañas, S., Peruzzini, M., Romerosa, A. **Synthesis, reactivity and catalytic properties of the allenylidene $[\text{Ru}(\text{C}=\text{C}=\text{CPh}_2)\text{Cp}(\text{PTA})(\text{PPh}_3)](\text{CF}_3\text{SO}_3)$ (PTA = 1,3,5-triaza-7-phosphaadamantane).** Journal of Organometallic Chemistry 2014, 751, 654-661. DOI: 10.1016/j.jorgchem.2013.08.040
- Lledo-Fernandez, C., Pollard, P. and Romerosa, A. **The date rape drug-flunitrazepam-electroanalytical sensing using electrogenerated chemiluminescence.** International Journal of Electrochemical Science 2014, 9, 227–237.
- Serrano-Ruiz, M., Romerosa, A., Lorenzo-Luis, P. **Elemental Phosphorus and Electromagnetic Radiation.** European Journal of Inorg. Chem. 2014, 1587–1598 "Phosphorus and derivatives" Special Volume.
- Hajji, L., Saraiba-Bello, C., Serrano-Ruiz, M., Romerosa, A. **Binuclear ruthenium complexes containing mPTA and alkyl-bis(8-thiotheophylline) derivatives (mPTA = N-methyl-1,3,5-triaza-7-phosphaadamantane).** Journal Coord. Chem. 2014, 67 (16), 2701-2710.
- Serrano-Ruiz, M., Imberti, S., Bernasconi, L., Jadagayeva, N., Scalambra, F., Romerosa, A. **Study of the interaction of water with the aqua-soluble dimeric complex $[\text{RuCp}(\text{PTA})_2-\mu\text{-CN-1}\kappa\text{C:2}\kappa\text{2N-RuCp}(\text{PTA})_2](\text{CF}_3\text{SO}_3)$ (PTA = 1,3,5-triaza-7-phosphaadamantane) by Neutrons and X-ray diffraction in solution.** Chem. Commun., 2014, 50, 11587–11590.

Capítulos de Libro:

- Serrano-Ruiz, M., Scalambra, F., Romerosa, A. **Organometallic polymers. Advances in organometallic chemistry and catalysis.** The Silver/Gold Jubilee International Conference on Organometallic Chemistry Celebratory Book. Wiley 2014. (Cap 29), 381-407. ISBN: 978-1-118-51014-8.

Congresos:

- Romerosa, A., Telling, M., Scalambra, F., Serrano Ruiz, M. **Study of the interaction of muons with a water soluble heterometal-backbone organometallic polymer.** 11th European Workshop on Phosphorus Chemistry, Sofia, Bulgaria, Marzo 2014.
- Scalambra, F., Serrano-Ruiz, M., Romerosa, A., Imberti, S. and Bernasconi, L. **The role of water in homogeneous catalytic processes mediated by water soluble ruthenium complexes.** 11th European Workshop on Phosphorus Chemistry, Sofia, Bulgaria, Marzo 2014.
- Serrano-Ruiz, M., Aguilera-Sáez, L.M., Lorenzo-Luis, P., Mena-Cruz, A., Romerosa, A. **Compuestos de Coordinación Heterobimetálicos Acuosolubles.** 16^a Reunión Científica Plenaria de Química Inorgánica/10^a Reunión Científica Plenaria de Química del Estado Sólido (QIES14). Almería, España, Junio 2014. ISBN 84-617-0585-8. C3, pag. 25.
- Scalambra, F., Serrano-Ruiz, M., Romerosa, A. **Polímeros Organo-Heterometalicos con el ligando PTA (PTA= 3,5,7-Triazafosfaadamantano).** 16^a Reunión Científica Plenaria de Química Inorgánica/10^a Reunión Científica Plenaria de Química del Estado Sólido (QIES14). Almería, España, Junio 2014. ISBN 84-617-0585-8. O2, pag. 42.
- Hajji, L., Jara-Pérez, V., Saraiba-Bello, S., Segovia-Torrente, G., Serrano-Ruiz, M., Romerosa, A. **Síntesis, actividad anticancerígena y estudio DFT de complejos con fórmula $[\text{RuCp}(\text{X})\text{LL}']$ (X = 8-tio-teofilinato (8TTH), 8-metil-tio-teofilinato (8MTT), 8-benzil-tio-teofilinato (8BTT); L=L' = mPTA; L = mPTA, L' = PPh₃; mPTA = N-metil-1,3,5-triaza-7-fosfaadamantano; PPh₃= trifenilfosfina).** 16^a Reunión Científica Plenaria de Química Inorgánica/10^a Reunión Científica Plenaria de Química del Estado Sólido (QIES14). Almería, España, Junio 2014. ISBN 84-617-0585-8. O14, pag. 54.
- Serrano-Ruiz, M., Romerosa, A. **Nuevo complejo polimérico organometálico 3D conteniendo el macrociclo $[\text{Ag}810]2^-$ y el complejo soluble en agua $[\text{RuCp}(\text{DMSO})(\text{PTA})_2]^+$.** 16^a Reunión Científica

Plenaria de Química Inorgánica/10ª Reunión Científica Plenaria de Química del Estado Sólido (QIES14). Almería, España, Junio 2014. ISBN 84-617-0585-8. O19, pag. 59.

- Romerosa, A. Sánchez Bajo, L. **Síntesis de nanopartículas metálicas dentro de una matriz de resina epoxídica para aplicación a la piedra natural.**, 16ª Reunión Científica Plenaria de Química Inorgánica/10ª Reunión Científica Plenaria de Química del Estado Sólido (QIES14). Almería, España, Junio 2014. ISBN 84-617-0585-8. P38, pag. 100.
- Scalambra, F., Serrano-Ruiz, M., Romerosa, A., Nahim Granados, S. **El ligando PTA como agente solubilizador de sistemas fluorescentes. (PTA= 3,5,7-Triazafosfaadamantano).** 16ª Reunión Científica Plenaria de Química Inorgánica/10ª Reunión Científica Plenaria de Química del Estado Sólido (QIES14). Almería, España, Junio 2014. ISBN 84-617-0585-8. P40, pag. 102.
- Mallqui Ayala, M., Serrano-Ruiz, M., Romerosa, A., Peruzzini, M., Gonsalvi, L. **Síntesis de polímeros usando complejos alenilidenicos de Rutenio conteniendo el ligando Cp(CONHCMe₃)₂.** 16ª Reunión Científica Plenaria de Química Inorgánica/10ª Reunión Científica Plenaria de Química del Estado Sólido (QIES14). Almería, España, Junio 2014. ISBN 84-617-0585-8. P51, pag. 113.
- Sánchez-Bajo, L., Romerosa, A. **Synthesis of Zinc Nanoparticles into Epoxi Resin matrix.** EURADH 2014 - 10th European Adhesion Conference, Alicante, España, Abril 2014. ISBN: 84-616-8267-6; 978-84-616-8627-8. pag. 192.
- Romerosa, A., Scalambra, F., Serrano-Ruiz, M. **PTA (3,5,7-triaza-phosphaadamantane): an excellent ligand for the synthesis of water soluble organo-heterometallic polymeric complexes.** 248th American Chemical Society National Meeting & and Exposition. San Francisco, USA, Agosto 2014. Poly-802. Conferencia.
- Romerosa, A., Serrano-Ruiz, M., Lorenzo-Luis, P. **Isomerization of allylic-alcohols in water mediated by water soluble ruthenium complexes containing PTA derivatives (PTA=1,3,5-triaza-7-phosphatricycle[3.3.1.1^{3,7}]decane).** 6th Journées de Chimie Organique, Société Chimie de Tunisie. Hammamet, Tunes, Septiembre 2014. CV-12. Plenaria invitada.
- Medyouni, R., Hamdi, N., Zagrouba, F., Romerosa, A. **Synthesis and Characterization of metal-free and metallophthalocyanines appending with four peripheral coumarin and benzylamine derivatives: A novel antibacterial derivatives.** 6th Journées de Chimie Organique, Société Chimie de Tunisie. Hammamet, Tunes, Septiembre 2014. OC-17A. Conferencia.
- El Babsi, W., Hamdi, N., Zagrouba, F., Romerosa, A. **Synthesis of a novel chalcones and their facile one pot conversion to heterocycles using malonitrile and ammonium acetate.** 6th Journées de Chimie Organique, Société Chimie de Tunisie. Hammamet, Tunes, Septiembre 2014. PC-26.
- Romerosa, A., Serrano-Ruiz, M., Scalambra, F., Imberti, S., Bernasconi, L. **Interaction of water molecules with the hetero-metal-polymer precursor [(PTA)₂CpRu-CN-RuCp(PTA)₂].** 1st European conference on Smart Inorganic Polymers, COST Action 1302 European Network on Smart Inorganic Polymers (SIPs). Maribor, Slovenia, Septiembre 2014. ISBN: 978-961-248-457-6. OP-23. Conferencia invitada.
- Scalambra, F., Serrano-Ruiz, M., Gudat, D., Romerosa, A. **Back-bone heterometallic polymers containing bimetallic [(PTA)₂CpRu-CN-RuCp(PTA)₂] moieties and Cd.** 1st European conference on Smart Inorganic Polymers, COST Action 1302 European Network on Smart Inorganic Polymers (SIPs), September 21st- 23th, 2014. Maribor, Slovenia. ISBN: 978-961-248-457-6. PO-16.

2.1.5 Nueva factoría del futuro segura, inteligente y sostenible de desmilitarización y tecnologías de defensa-SIXTREMS**Participantes:**

Grupo de Inv. "Química de Coordinación, Organometálica y Fotoquímica". Universidad de Almería (FQM-317)

Contactos:

A. Romerosa Nievas (romerosa@ual.es)

Fuente de financiación:

Ministerio de Economía y Competitividad. FEDER 2013 (ITC-20132016)

Duración prevista:

Enero 2013 - Julio 2015

Situación:

En curso

Resumen

El proyecto se dirige a encontrar un procedimiento que permita transformar fósforo blanco proveniente de la desmilitarización de armas, en fósforo rojo, más estable y seguro. Para ello se pretende utilizar radiación solar como fuente de energía.

Resultados durante 2014:

Durante 2014 se han desentrañado los factores que influyen en el proceso de transformación de fósforo blanco (P_4) en rojo (P_n), haciendo del mismo un proceso con potencial industrial.

Abstract:

The project is targeted to obtain a procedure to transform white phosphorus, coming from weapons demilitarization, into red phosphorus, more stable and secure. Solar radiation will be used as the energy source to promote the transformation.

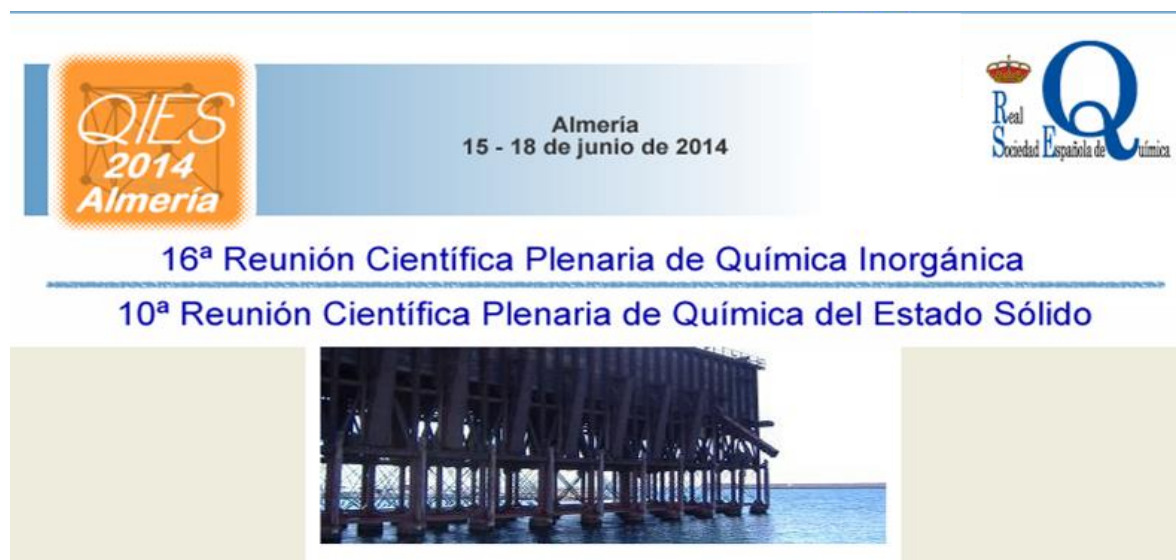
Publicaciones:Congresos:

- Nahim Granados, S., Serrano-Ruiz, M., Romerosa, A. **Como obtener un gel estable de fósforo blanco.** 16ª Reunión Científica Plenaria de Química Inorgánica/10ª Reunión Científica Plenaria de Química del Estado Sólido (QIES14). Almería, España, Junio 2014. ISBN 84-617-0585-8. P29, pag. 91.

2.1.6 Transferencia y Actividades Complementarias

En 2014 el grupo organizó el congreso bianual del grupo especializado de Química Inorgánica y Estado Sólido (QIES14) que se celebró en Almería del 15 al 18 de junio.

(www.ual.es/Congresos/QIES14/organizacion.html)

Conferencias:

TÍTULO: "Fotoactividad visible y catálisis mediada por complejos de rutenio solubles en agua".

ACTO: Conferencias dentro del Programa Pablo Neruda.

LUGAR DE PRESENTACIÓN: Facultad de Químicas de la Universidad de la República del Uruguay, Montevideo, Uruguay.

FECHA: 30/06/2014

TÍTULO: "Complejos metálicos con fosfinas solubles en agua: nuevos agentes anticancerígenos".

ACTO: Conferencias dentro del Programa Pablo Neruda.

LUGAR DE PRESENTACIÓN: Facultad de Químicas de la Universidad de la República del Uruguay, Montevideo, Uruguay.

FECHA: 01/07/2014

TÍTULO: "Polímeros poli metálicos solubles en agua: Una nueva familia de compuestos químicos con propiedades sorprendentes".

ACTO: Conferencias dentro del Programa Pablo Neruda.

LUGAR DE PRESENTACIÓN: Facultad de Químicas de la Universidad de la República del Uruguay, Montevideo, Uruguay.

FECHA: 02/07/2014

2.2 ACTIVIDADES EN “EVALUACIÓN ANALÍTICA DE TRATAMIENTOS DE AGUAS Y ANÁLISIS AMBIENTAL”

La Unidad Funcional de evaluación analítica de tratamientos de aguas y análisis ambiental está constituida por investigadores del departamento de Química y Física de la Universidad de Almería y de la unidad de Tratamientos Solares de Agua de la Plataforma Solar de Almería (CIEMAT). La colaboración entre ambos centros se remonta a 1998, año en el que se publica el primer trabajo conjunto. Desde entonces se ha colaborado activamente en proyectos nacionales e internacionales y se cuenta con más de 40 publicaciones conjuntas. Actualmente, miembros de ambos centros forman parte del grupo PAI (Plan Andaluz de Investigación) “Análisis Ambiental y Tratamiento de Aguas (FQM-374)”.

2.2.1 Líneas estratégicas del grupo

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 los tratamientos 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 actividades agrícolas.

Main research lines

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 wastewater 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 agriculture.*

2.2.2 Investigadores principales del grupo

Ana Agüera López (Scopus Author 6701415534)

Es catedrática del Departamento de Química y Física de la Universidad de Almería. Licenciada en Ciencias Químicas (1987) y Dra. en Ciencias Químicas por la Universidad de Granada (1995). Investigadora responsable del grupo Análisis Ambiental y Tratamiento de Aguas (FQM-374) del Plan Andaluz de Investigación. Cuenta con 25 años de experiencia en el desarrollo y validación de métodos analíticos, basados en el empleo de técnicas cromatográficas acopladas a espectrometría de masas, para el análisis de contaminantes orgánicos en alimentos y matrices ambientales. Ha participado en 20 proyectos de investigación competitivos nacionales e internacionales, en 6 de ellos como investigadora principal. Es

co-autora de 2 patentes y 110 publicaciones científicas en revistas internacionales indexadas (H index=42). Ha co-dirigido 7 tesis doctorales y participado en más de 150 comunicaciones a congresos. Es autora de 3 libros y 11 capítulos de libro y ha participado en la organización de 7 congresos de carácter internacional.

Ana Agüera López (Scopus Author 6701415534)

Full professor at the University of Almería. Degree in Chemistry (1987). PhD in Chemistry (1995). She has 25 years of experience working in the development and validation of analytical method based on chromatographic technique coupled to mass spectrometry for the analysis of organic contaminants in food and environmental matrices. She has participated in 20 national and international competitive R&D Projects. She is co-author of 2 patents and 107 scientific publications in indexed international journals (H index = 42). She has also co-authored more than 150 conference papers, 3 books and 11 book chapters, and has participated in the organization of 7 international conferences. She has supervised 7 doctoral theses.

Isabel Oller Alberola (Scopus Author 8415190600)

Es investigadora de la Unidad de Tratamientos Solares del Agua de la Plataforma Solar de Almería (CIEMAT), Licenciada en Ingeniería Química por la Universidad de Granada (2002) y Doctora por la Universidad de Almería (2008). Cuenta con más de 10 años de experiencia en el campo de la descontaminación y reutilización de aguas residuales industriales y urbanas mediante procesos avanzados de oxidación y su combinación con sistemas físico-químicos de pre-tratamiento, así como con tratamientos biológicos avanzados. La Dr. Isabel Oller ha desarrollado esta actividad a través de su participación en diversos Proyectos de I+D nacionales y europeos (5th, 6th & 7th EU FP). Dentro de su producción científica cabe destacar que es autora de 1 libro en Editorial Nacional y co-autora de 7 capítulos de libros de Editorial Internacional. Además es co-autora de 74 publicaciones en revistas científicas internacionales con índice de impacto y más de 270 contribuciones a Congresos y Simposios internacionales hasta la fecha (Febrero 2015). Además, ha participado como profesora en cursos nacionales e internacionales relacionados con el Tratamiento Avanzado de Aguas Residuales. h-index (Febrero 2015): 25

Isabel Oller Alberola (Scopus Author 8415190600)

Researcher at the Solar Treatment of Water Unit at the Plataforma Solar de Almería (CIEMAT), degree in Chemical Engineering (2002) and PhD in Chemical Engineering (2008). Dr. Isabel Oller scientific career is focused in the industrial and urban wastewater treatment and reuse by using advanced oxidation processes (with and without solar energy) and their combination with physic-chemical pre-treatment systems and advanced biological processes. She has developed this activity under her participation in several I+D national and European Projects (5th, 6th & 7th EU Framework programs). Her scientific production it is worthy to mention she is author of 1 National Editorial book and co-author of 7 International Editorial books chapters. Furthermore, she is co-author of 74 publications in indexed scientific international journals and 270 contributions to different International Congresses and Symposiums (until February 2015). She has also participated as teacher in some national and international curses and masters related with Advanced Treatment of Wastewater. H-index (February 2015): 25.

2.2.3 Miembros del grupo

Ana Agüera López (UAL)



Isabel Oller Alberola (PSA-CIEMAT)



Sixto Malato Rodríguez (PSA-CIEMAT)



Inmaculada Polo López (PSA-CIEMAT)



Sara Miralles Cuevas (PSA-CIEMAT)



Estefanía De Torres Socías (PSA-CIEMAT)



María Castro Alférez (PSA-CIEMAT)



Lucia del Pilar Prieto Rodríguez (PSA-CIEMAT)



Ricardo Sánchez (PSA-CIEMAT)



Laura Ponce Robles (PSA-CIEMAT)



Ana Martínez (UAL)



2.2.4 Caracterización y tratamiento de aguas residuales de distinto origen (lixiviados de vertedero y efluentes de la industria del corcho)

Participantes:

Grupo de Inv. "Análisis Ambiental y Tratamiento de Aguas". Universidad de Almería (FQM-374)

Contactos:

A. Agüera (aaguera@ual.es)

I. Oller (Isabel.oller@psa.es)

Fuente de financiación:

Junta de Andalucía. Proyecto de Excelencia. Convocatoria 2012. (P12-RNM-1739)

Duración prevista:

Enero 2014 - Enero 2017

Situación:

En curso

Resumen:

El proyecto pretende abordar el tratamiento de aguas residuales complejas integrando procesos avanzados de oxidación (PAO) (foto-Fenton solar y O_3/H_2O_2) con biotratamiento (Bio), tanto en el sentido PAO/Bio como Bio/PAO, en función de las características de biodegradabilidad del agua a tratar. Se utilizarán dos tipos de aguas residuales de características claramente diferenciadas, lixiviado de vertedero y efluentes de la industria del corcho. Debido a la complejidad de estas aguas se realizará la caracterización inicial de la misma y el seguimiento de la evolución de los tratamientos mediante técnicas analíticas avanzadas (LC-MS, GC-MS), parámetros globales (TOC, DQO, biodegradabilidad, etc.) y baterías de bioensayos (toxicidad mediante diferentes organismos).

Objetivos:

- Caracterización de aguas residuales de diverso origen mediante protocolos de análisis de amplio espectro que incluyan la selección de procedimientos de extracción y técnicas analíticas combinadas.
- Establecimiento de una metodología global para determinar la detoxificación y biocompatibilidad de las aguas residuales tratadas mediante procesos avanzados, mediante la comparación de distintos métodos de medida de toxicidad y biodegradabilidad.
- Selección de la mejor opción entre diferentes tratamientos de oxidación avanzada (foto-Fenton, O_3/OH^- , O_3/H_2O_2) y su combinación con depuración biológica.

Resultados durante 2014:

La comunicación de la concesión definitiva del proyecto de la convocatoria de 2012 fue en diciembre de 2013. El inicio del proyecto se ha computado a partir 30/01/2014. Se ha recibido la primera anualidad de la financiación (7% del total concedido) pero aún no se ha resuelto el contrato predoctoral. Debido a los retrasos en el pago de las anualidades y en la contratación de personal asociado al proyecto, hay solicitada una ampliación del plazo de ejecución del mismo.

Durante este primer año de ejecución del proyecto se han completado tareas generales requeridas previamente al desarrollo específico de los objetivos científicos del mismo. En este sentido se ha llevado a

cabo una caracterización completa de dos tipos de lixiviados de vertedero y de aguas residuales procedentes del cocido del corcho. Además se ha llevado a cabo un amplio estudio bibliográfico para determinar aquellos contaminantes mayoritarios normalmente presentes en las aguas de cocido del corcho y que podrán ser seguidos por LC-MS y GC-MS a lo largo de los diferentes tratamientos físicos, químicos y biológicos avanzados que se estudiarán durante el proyecto para lograr una elevada eficiencia en el tratamiento y reúso de dichas aguas residuales complejas.

A continuación se ha completado también la tarea de optimización del pre-tratamiento físico-químico del agua residual de cocido del corcho con objeto de obtener un efluente con baja turbidez y sólidos en suspensión lo que favorecerá la eficiencia del tratamiento químico posterior así como una reducción importante en el consumo de reactivos. En la figura 2.2.4.1 se muestran los resultados finales óptimos de coagulación así como el aspecto de la muestra final del agua de corcho pre-tratada.

FeCl ₃	Ajuste pH	pH	Turbidez	DQO	COD
AGUA CORCHO INICIAL	-	4,79	78	4319	1369
FeCl ₃ 0,75 g/L	No ajuste	2,02	14,2	3738	971
+ QUIFLOC 6010 a 0,5 g/L		1,93	23	5017	1143
+ QUIFLOC 9800 a 0,5 g/L		1,93	14,5	3360	1093
+ QUIFLOC 2030 a 0,5 g/L		1,93	2,07	3631	1258
FeCl ₃ 0,75 g/L	pH 10	10,0	4,6	2274	1061
+ QUIFLOC 6010 a 0,5 g/L		8,51	16,3	2492	747
+ QUIFLOC 9800 a 0,5 g/L		8,56	3,86	2652	734
+ QUIFLOC 2030 a 0,5 g/L		8,20	14,6	3272	911

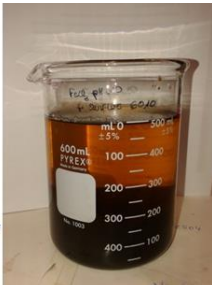


Figura 2.2.4.1. Valores óptimos para el pre-tratamiento físico-químico de las aguas residuales procedentes del corcho. Aspecto de la muestra final (imagen derecha).

Además de la caracterización físico-química de las aguas industriales bajo estudio en este proyecto, también se ha llevado a cabo el estudio de la toxicidad y biodegradabilidad de las mismas en fangos activos mediante respirometría. En la tabla 2.2.4.1 se muestran los resultados de toxicidad y biodegradabilidad del agua de cocido del corcho antes y después de diferentes pre-tratamientos físico-químicos. El siguiente paso será el análisis de toxicidad crónica no sólo en fangos activos de EDAR sino también en otras especies microbianas.

Tabla 2.2.4.1. Resultados de toxicidad y biodegradabilidad del agua de cocido del corcho antes y después de diferentes pre-tratamientos físico-químicos

	Toxicidad aguda (%)	Biodegradabilidad a corto plazo (DQOb/DQO)
Sin pre-tratar	63,0 %	0,074
FeCl ₃ 0,75 g/L + pH 10	58,6 %	0,300
FeCl ₃ 0,75 g/L + pH 10 + QUIFLOC 9800 0,5 g/L	61,3 %	0,120
FeCl ₃ 0,75 g/L + pH 10 + QUIFLOC 6010 0,5 g/L	50,7 %	0,160
Ca(OH) ₂ 0,75 g/L	60,3 %	0,140

Por último se han comenzado a desarrollar los protocolos necesarios para el seguimiento de la concentración de determinados contaminantes presentes en las aguas de cocido del corcho

(tricloroanisol, taninos, polifenoles, etc) mediante GC-MS antes y después del pre-tratamiento físico químico de forma que sea posible asignar la toxicidad crónica a la mezcla de compuestos mayoritarios.

Abstract:

The project aims to address the treatment of complex wastewaters integrating different advanced oxidation processes (AOPs) (photo- Fenton and solar O₃/H₂O₂) with biotreatment (Bio). The strategies of treatment will include combinations of both PAO/Bio and Bio/PAO, depending on biodegradability characteristics of the water to be treated. Two types of wastewater, landfill leachate and effluents from the cork industry, will be used. Due to the complexity of these waters, advanced analytical techniques (LC- MS, GC- MS), global parameters (TOC, COD, biodegradability, etc.) and batteries of bioassays (toxicity by different agencies) will be applied in the initial characterization of the waters and during the monitoring of the evolution of treatments.

Objectives:

- *Characterization of wastewaters from different origin by wide spectrum analytical protocols including extraction procedures and combined analytical techniques.*
- *Establishment of a comprehensive methodology for determining the biocompatibility and detoxification of wastewater treated by advanced processes, by comparing different methods for measuring toxicity and biodegradability.*
- *Selecting the best choice among different advanced oxidation treatments (photo- Fenton, O₃/OH- O₃/H₂O₂) and its combination with biological treatment.*

2.2.5 Reducción de costes del proceso foto-Fenton solar mediante reactores extensivos abiertos para la regeneración de aguas (REAQUA)**Participantes:**

Unidad funcional "Tecnologías avanzadas para la regeneración de aguas"
Unidad funcional "Evaluación analítica de tratamientos de aguas y análisis ambiental"

Contactos:

J. A. Sánchez (jsanchez@ual.es)
A. Agüera (aaguera@ual.es)

Fuente de financiación:

Ministerio de Economía y Competitividad. (CTQ2013-46398-R)

Duración prevista:

Enero 2014 – Diciembre 2016

Situación:

En curso

Resumen:

La eliminación de contaminantes mediante foto-Fenton a muy baja concentración presenta nuevos retos científicos y tecnológicos. Debe profundizarse en el conocimiento de los mecanismos de reacción y en el seguimiento de los productos de transformación, pues los comportamientos cinéticos son distintos a los observados al tratar altas concentraciones de contaminantes. Además, las necesidades de irradiación son menores, alcanzando situaciones de saturación cinética a altas irradiancias (exceso de luz), por lo que cobra especial importancia la distribución de luz dentro del reactor. Se plantea el estudio de nuevas plantas de tratamiento que tengan en cuenta el área ocupada por los fotorreactores y el volumen de agua tratada por unidad de superficie. Además, el estudio económico se ha vuelto indispensable para que el proceso foto-Fenton alcance el ámbito comercial. Se propone la utilización de reactores abiertos tipo "raceway", por su bajo coste (inversión y operación) y por permitir modificar el paso óptico del reactor (profundidad) en función de la radiación solar incidente. Se pretende minimizar el coste total, maximizando el volumen de agua regenerada por unidad de superficie ocupada. Para ello, se prestará atención al estudio de las variables de operación, dosificación de reactivos y modo de operación, por lotes y en continuo (durante el día).

Es de relevancia, el seguimiento analítico de los microcontaminantes y de sus productos de transformación durante los tratamientos. Para ello se utilizarán técnicas analíticas altamente sensibles y selectivas basadas en el empleo de la espectrometría de masas. Es también de interés para este proyecto el desarrollo de estrategias de seguimiento más simple y rápido de los procesos de tratamiento, por lo que se propondrá el empleo de trazadores de contaminación cuya identificación en los efluentes sea indicativa de un mal funcionamiento de los mismos.

Objetivos:

Demostrar la viabilidad técnica y económica de los reactores "raceway" para la descontaminación, desinfección y regeneración de aguas residuales a escala piloto.

Obtener las condiciones de operación más favorables para el sistema propuesto.

Mejorar y validar nuevos métodos de análisis basados en espectrometría de masas que permitan una adecuada evaluación analítica de las aguas tratadas.

Garantizar la eliminación de forma eficaz de los microcontaminantes y sus productos de transformación durante el tratamiento, a fin de obtener efluentes aptos para su reutilización en diferentes aplicaciones.

Resultados durante 2014:

La comunicación de la concesión definitiva del proyecto de la convocatoria de 2013 fue en octubre de 2014, siendo la fecha de inicio el 1 de enero de 2014. Se ha recibido la primera anualidad de la financiación pero aún no se ha resuelto el contrato predoctoral.

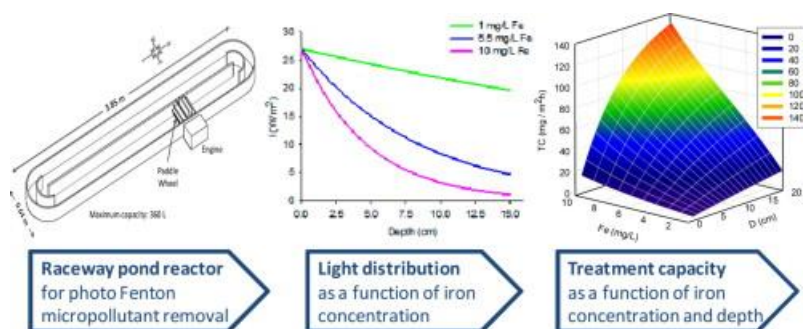


Figura 2.2.5.1. Resumen gráfico del estudio del efecto de la absorción de fotones en la aplicación del proceso foto-Fenton en "raceway"

En esta investigación se estudió el efecto de la radiación solar en el funcionamiento de los RPRs para eliminar microcontaminantes mediante foto-Fenton solar. Se utilizó un RPR a escala de planta piloto (hasta 360 L) y se utilizaron los plaguicidas acetamiprid (ACTM) y tiabendazol (TBZ) como modelo (100 µg/L cada uno) en efluente de secundario. Las irradiancias UV promedio variaron de 10 a 30 W/m² y se utilizaron tres valores de la concentración de hierro (1, 5.5 y 10 mg/L). También se utilizaron diferentes profundidades de líquido para evaluar la relación entre la velocidad volumétrica de absorción de fotones (VRPA) y la eliminación de contaminantes. Se propuso un modelo para predecir la tasa de degradación y capacidad de tratamiento en función de la VRPA. En condiciones de irradiancia bajas (10 W/m²) la capacidad de tratamiento no aumentó por encima de 10 cm de profundidad de líquido, por lo que se debe utilizar una concentración de hierro baja (5 mg Fe/L). Para valores altos de irradiancia (30 W/m²), se debe utilizar una mayor profundidad del líquido (20 cm) y concentración de hierro (10 mg Fe/L) para sacar el máximo provecho de la disponibilidad de fotones. En estas condiciones, se puede llegar a valores de la capacidad de tratamiento de 133 mg/h m².

Paralelamente, y de cara a la realización de futuros ensayos con efluente de EDAR, se ha seleccionado un grupo de siete contaminantes de interés emergente (cafeína, atenolol, ofloxacina, eritromicina, gemfibrozil, hydrochlorothiazide y naproxen) y se ha optimizado y validado un método analítico sensible y selectivo por LC-QTrap-MS/MS. Asimismo, se está poniendo a punto un nuevo sistema LC con detector de masas de alta resolución (AB SCIEX TripleTOF 5600+) de reciente adquisición, que permitirá la realización de estudios de identificación de intermedios.

Abstract:

The removal of low concentrations of pollutants by photo-Fenton presents new challenges, scientifically and technically. It must be delved into reactions mechanisms and detection of generated transformation products, as kinetic behavior is different with respect to that observed with high concentration of pollutants, where basically chemical oxygen demand and dissolved organic carbon are monitored.

Furthermore, the irradiation needs are fewer, reaching a point of kinetic saturation at high irradiances (light excess), so light distribution inside the reactor is especially important. Thus, we lay out a study of new treatment plants where the photoreactor surface and treated water volume per surface area are taken into account. This concept was barely studied in the development of the first experimental plants, as the ability to concentrate solar energy was prioritized.

In addition to the technical development, an economic assessment has become essential to turn the photo-Fenton process into a commercial treatment. In this project, we propose the use of open reactors, "raceway" type, due to their low cost (amortization and operation) and the fact that they allow changing the optical path (volume depth) as a function of incident solar radiation. We expect to minimize total costs, maximizing reclaimed water volume per surface area. To this effect special attention will be given to the operating variables, reactant dosage and operating mode, batch and continuous (during the day).

Analytical analysis is especially important to monitor micropollutants and detect their transformation products during the treatment. This will permit to evaluate the reactor efficiency and the optimization of the operating parameters. For this purpose, highly sensitive and selective analytical techniques, based on mass spectrometry, will be used. It will also be proposed the development of simpler and faster detection strategies which use pollution tracers.

Objectives:

- Show the technical and economical feasibility of "raceway" reactors for decontamination, disinfection and wastewater reclamation at pilot plant scale.
- Obtain the best operating conditions for the proposed system
- Improve and validate new analytical methods based on mass spectrometry which allow an adequate evaluation of the treated water
- Ensure effective removal of micropollutants and their transformation products during treatment, to obtain effluent suitable for reuse in different applications.

Publicaciones:

- Rivas, G., Carra, I., García Sánchez, J. L., Casas López, J. L., Malato, S., Sánchez Pérez, J. A. **Modelling of the operation of raceway pond reactors for micropollutant removal by solar photo-Fenton as a function of photon absorption.** Applied Catalysis B: Environmental aceptado septiembre (2014) <http://dx.doi.org/10.1016/j.apcatb.2014.09.015>

2.2.6 SFERA II: Photochemical degradation of carbapenem antibiotics in aqueous solutions under solar irradiation**Participantes:**

Unidad funcional "Evaluación analítica de tratamientos de aguas y análisis ambiental"

Unidad funcional "Tecnologías avanzadas para la regeneración de aguas"

Contactos:

A. Agüera (aaguera@ual.es)

J.A. Sánchez Pérez (jsanchez@ual.es)

Fuente de financiación:

Programa SFERA II (Solar Facilities for the European Research Area)

Duración prevista:

Septiembre 2014

Situación:

Finalizado

Resumen:

El proyecto SFERA-II (<http://sfera2.sollab.eu>), del que CIESOL es "third party" de CIEMAT-PSA, financia estancias de investigación de grupos europeos en nuestras instalaciones. Durante 2014, las unidades funcionales de "Evaluación analítica de tratamientos de aguas y análisis ambiental" y "Tecnologías avanzadas para la regeneración de aguas" han acogido al grupo del Prof. Nikos Xekoukoulotakis, del Departamento de Ingeniería Ambiental de la Universidad Técnica de Creta (Grecia). El proyecto aprobado consistía en el estudio de la degradación fotoquímica de dos antibióticos betalactámicos del grupo de los carbapenems (imipenem y meropenem). Se estudió su comportamiento fotoquímico y fotocatalítico (TiO₂), evaluándose cinéticas de degradación, toxicidad y generación de productos de transformación. Los experimentos se realizaron en diferentes matrices ambientales.

Objetivos:

- Estudiar la degradación fotolítica en disolución acuosa con luz solar de dos antibióticos del grupo de los carbapenems (imipenem y meropenem).
- Estudiar la degradación fotocatalítica en disolución acuosa con luz solar de imipenem y meropenem utilizando TiO₂ como catalizador.
- Evaluar la influencia de la matriz (agua de río, agua residual) en la eficacia de ambos procesos.

Resultados durante 2014:

- Se realizó la puesta a punto de un método analítico mediante LC-QTRAP-MS/MS. Para ello se optimizó tanto la composición de la fase móvil como el pH de la misma, observándose una importante influencia de ambos parámetros en la resolución y calidad de los picos cromatográficos. El método desarrollado se validó en diferentes matrices (agua desionizada, agua de río y efluente de EDAR).
- Se estudió el empleo de la extracción en fase sólida con diferentes adsorbentes (C18, OasisHLB) como método de preconcentración y limpieza en muestras acuosas, observándose una escasa retención de imipenem en ambos casos. Asimismo, se observó que ambos compuestos sufrían degradación en la etapa de evaporación. Se decidió, por tanto, realizar la inyección directa de

las muestras, si bien Imipenem mostraba un fuerte efecto de supresión iónica en la fuente en presencia de matrices complejas.

- Se estudió la degradación fotolítica de los dos antibióticos en las matrices antes reseñadas. Se evaluó el efecto de diferentes parámetros que afectan al proceso (presencia de nitratos y ácidos húmicos, concentración inicial de contaminante, pH, nivel de irradiancia, efecto de la matriz). Se observó que ambos compuestos experimentaban una rápida degradación por fotólisis directa siguiendo cinéticas de primer orden. La velocidad de degradación estaba fuertemente influenciada por la matriz acuosa.
- Los estudios de degradación fotocatalítica, si bien se han iniciado están pendientes de evaluar, así como la identificación de productos de transformación que se ha retrasado debido a problemas en la puesta a punto de los equipos analíticos necesarios.

Abstract:

The SFERA-II project (<http://sfera2.sollab.eu>), in which CIESOL is third party of CIEMAT-PSA, finances research stays of European groups in our facilities. During 2014, the functional units of "Analytical evaluation of water treatment and environmental analysis" and "Advanced Technologies for water regeneration" have welcomed the group of Prof. Nikos Xekoukoulotakis, Department of Environmental Engineering, Technical University of Crete (Greece). The approved project was related to the study of the photochemical degradation of two beta-lactam antibiotics from the group of carbapenems (namely imipenem and meropenem). The photochemical and heterogenous photocatalysis (TiO_2) were studied, evaluating degradation kinetics, toxicity and generation of transformation products. Experiments were performed using different water matrices.

Objectives:

- *To study the photochemical fate of two representative carbapenem antibiotics, namely imipenem and meropenem, in aqueous solutions under solar irradiation.*
- *To study the photocatalytic degradation of imipenem and meropenem in aqueous solutions under solar irradiation using TiO_2 as the photocatalyst in an advanced treatment process for their removal from aqueous matrices.*
- *Assessment of the influence of the matrix (river water, wastewater) on the effectiveness of both processes.*

2.2.7 Transferencia y Actividades Complementarias

Como parte del **Grupo de Trabajo “WG5: Wastewater reuse”** (<http://www.norman-network.net/?q=node/106>) de la red NORMAN (Nº W604002510) - Network of reference laboratories, research centres and related organisations for monitoring of emerging environmental substances (<http://www.norman-network.net/>), el grupo ha participado en una campaña de detección de la presencia de elementos genéticos que contienen información codificada sobre resistencia a antibióticos en efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales europeas. En esta línea ya se ha aprobado la realización para 2015 de nuevas actividades que incluyen:

- a) Selección de 5 genes útiles para ser utilizados como indicadores
- b) Evaluación del potencial de las bacterias y genes resistentes a los antibióticos (ARG) para extenderse desde las aguas residuales tratadas al medio receptor
- c) Evaluación de la posible incorporación de ARG por las plantas regadas con aguas residuales tratadas.

Participación en la **European COST Action titulada: 'NEW AND EMERGING CHALLENGES AND OPPORTUNITIES IN WASTEWATER REUSE (NEREUS)'** (<http://www.nereus-cost.eu/>), en la que Sixto Malato y Ana Agüera son miembros titular y suplente del comité de gestión de la acción. La acción tiene como principal objetivo desarrollar una red multidisciplinar para determinar cuál de los desafíos actuales relacionados con la reutilización de aguas residuales son los más preocupantes en relación con la salud pública y la protección del medio ambiente, y cómo se pueden superar. El grupo participa activamente en la acción a través de los grupos de trabajo sobre “Absorción y translocación de microcontaminantes orgánicos y ARB/ARG en cultivos” (WG2) y “Tecnologías eficientes / económicamente viable para afrontar los retos actuales de la reutilización de aguas residuales” (WG4), del que Sixto Malato es vice-líder.

Organización de la **III Reunión Nacional de Grupos de Fotocatálisis**, celebrado los días 11 y 12 de septiembre de 2014 en Tabernas (Almería). Esta reunión contó con la participación de 37 investigadores pertenecientes a 15 grupos de investigación españoles cuya actividad se centra en temas de fotocatálisis y sus aplicaciones (materiales, purificación de aire y agua, tratamiento de aguas residuales industriales, ingeniería de reactores, reducción de CO₂, desinfección de aguas y superficies y aplicaciones solares). En este foro surgieron nuevas colaboraciones entre grupos de investigación nacionales en este campo de cara a la presentación de propuestas de proyectos a nivel nacional y europeo (programa H2020).

Concesión de la **RED CONSOLIDER TRAGUA** (CTM2014-53485-REDC), Programa Estatal de Fomento de la Investigación Científica y Técnica de Excelencia, Subprograma Estatal de Generación de Conocimiento, modalidad 3: Acciones de dinamización "Redes de Excelencia", convocatoria de 2014, Participación de Sixto Malato en las siguientes **conferencias invitadas**:

- ASEAN-EU Science, Technology and Innovation Days. Bangkok, Tailandia 21-23 Enero 2014. <http://www.stidays.net/>. Lectura invitada.
- 2nd International Conference on Recycling and Reuse (R&R, 2014), 4-6 Junio, 2014, Estambul, Turquía. Keynote invitada.

- 12th Pannonian Symp. on Catalysis. Trest, Republica Checa. 16-20 Septiembre, 2014. Lectura plenaria.
- IEEE Nanotechnology materials and devices conference 2014. Octubre 12-15, 2014. Aci CAstello, Italia. Lectura invitada.

2.3 ACTIVIDADES EN “TECNOLOGÍAS AVANZADAS PARA LA REGENERACIÓN DE AGUAS”

El personal del grupo de investigación forma parte también del grupo del Plan Andaluz de Investigación (PAI) “Ingeniería de bioprocesos y tecnologías del agua, BIO263” creado en 1999 en el seno del departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Almería (UAL). Durante estos años, el grupo ha ido incrementando su actividad científica en el campo de la biotecnología de microalgas, en la fermentación de hongos filamentosos y, actualmente, en la depuración y descontaminación de aguas contaminadas con tóxicos persistentes. Existe una estrecha colaboración con el grupo “Evaluación analítica de tratamientos de aguas y análisis ambiental”, complementando y fortaleciendo las principales líneas de trabajo actuales.

Durante 2014 han dejado el grupo el Dr. Lucas Santos-Juanes en septiembre, al incorporarse a la Universidad Politécnica de Valencia (Alcoy) con un contrato de investigación y una plaza de profesor asociado; y la Dra. Irene Carra en diciembre, que disfruta de un contrato postdoctoral en la Universidad de Cranfield (Reino Unido). En este año se han iniciado dos proyectos de investigación: DISEÑO DE NUEVOS REACTORES PARA FOTO-FENTON SOLAR APLICADOS A LA REGENERACIÓN DE AGUAS. ECONOMÍA, ESCALADO Y CONTROL DEL PROCESO (P12-RNM-1437), financiado por la Consejería Economía, Innovación, Ciencia y Empleo de la Junta de Andalucía; y REDUCCIÓN DE COSTES DEL PROCESO FOTO-FENTON SOLAR MEDIANTE REACTORES EXTENSIVOS ABIERTOS PARA LA REGENERACIÓN DE AGUAS (CTQ2013-46398-R), financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad. Ambos proyectos conllevan contratos predoctorales. En 2014 se han publicado varios artículos correspondientes a dos proyectos finalizados en 2013, uno autonómico (FOTOMEM) y otro nacional (FOTOREG), dando lugar a la siguiente producción científica:

FOTOMEM

- Ballesteros Martín, M.M., Ortega-Gómez, E., Esteban García, B., Sánchez Pérez, J. A. **A new bioseed for determination of wastewater biodegradability. Analysis of the experimental procedure.** Environmental Science and Pollution Research 2014. 21(16): 9522-9528

FOTOREG

- Sánchez Pérez, J.A., Carra, I., Sirtori, C., Agüera, A., Esteban García, B. Fate of thiabendazole through the treatment of a simulated agro-food industrial effluent by combined MBR/Fenton processes at µg/L scale. Water Research 2014. 51: 55–63
- Carra, I., Malato, S., Jiménez, M., Maldonado, M. I., Sánchez Pérez, J. A. **Microcontaminant removal by solar photo-Fenton at natural pH run with sequential and continuous iron additions.** Chemical Engineering Journal 2014. 235: 132–140
- Ortega-Gómez, E., Esteban García, B., Ballesteros Martín, M. M., Fernández Ibáñez, P., Sánchez Pérez, J. A. Solar photo-Fenton for water disinfection: An investigation of the competitive role of model organic matter for oxidative species. Applied Catalysis B Environmental 2014. 148– 149: 484–489
- Carra, I., García Sánchez, J. L., Casas López, J. L., Malato, S., Sánchez Pérez, J. A. Phenomenological study and application of the combined influence of iron concentration and irradiance on the photo-Fenton process to remove micropollutants. Science of the Total Environment 2014. 478: 123–132

- Román Sánchez, I. M., Carra, I., Sánchez Pérez, J. A. **Promoting environmental technology using sanitary tax: the case of agro-food industrial wastewater in Spain.** Environmental Engineering and Management Journal 2014. 13(4): 961-969
- Sirtori, C., Agüera, A., Carra, I., Sánchez Pérez, J. A. Application of liquid chromatography quadrupole time-of-flight mass spectrometry to the identification of acetamiprid transformation products generated under oxidative processes in different water matrices. Analytical and Bioanalytical Chemistry 2014. 406(11): 2549-2558
- Sirtori, C., Agüera, A., Carra, I., Sánchez Pérez, J. A. **Identification and monitoring of thiabendazole transformation products in water during Fenton degradation by LC-QTOF-MS.** Analytical and Bioanalytical Chemistry 2014. 406(22): 5323-5337.
- Carra, I., García Sánchez, J. L., Malato, S., Sánchez Pérez, J. A. **Modelling micropollutant removal by solar photo-Fenton.** Global NEST Journal 2014. 16(3): 445-454
- Jiménez, M., Maldonado, M. I., Rodríguez, E., Hernández-Ramírez, A., Saggiaro, E., Carra, I., Sánchez Pérez, J. A. Supported-TiO₂ solar photocatalysis at pilot plant scale: degradation of pesticides found in citrus processing industry wastewater. Reactivity and influence of photogenerated species Journal of Chemical Technology & Biotechnology 2015. 90: 149-157

2.3.1 Líneas estratégicas del grupo

Estudio de la fotocatálisis 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 eliminación de microcontaminantes en aguas depuradas
- 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 research lines:

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

- *Use of solar photo-Fenton for decontamination of toxic water*
- *Use of solar photo-Fenton for micropollutant removal from treated wastewater*
- *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*

2.3.2 Investigadores principales del grupo

José Antonio Sánchez Pérez (Scopus Author ID 7006076735)

Catedrático de Universidad. Departamento de Ingeniería. Químico Industrial (1988) y Doctor en Ciencias Químicas (1992) por la Universidad de Granada. Ha participado en quince proyectos de I+D de ámbito nacional e internacional, liderando ocho de ellos, así como en una docena de contratos con empresas. Ha dirigido trece tesis doctorales en distintos campos como la biotecnología de microalgas, la fermentación de hongos filamentosos y el tratamiento de aguas y es coautor de cuatro patentes y mas de una centena publicaciones científicas en revistas internacionales.

José Antonio Sánchez Pérez (Scopus Author ID 7006076735)

Full Professor. Department of Engineering. Degree in Chemical Engineering by Univ. of Granada (1988); PhD by the Univ. of Granada (1992). He has been involved in 15 research projects (European and Spanish projects) and has led 8 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 13 PhD theses in different fields such as biotechnology of microalgae, filamentous fungi fermentation and water treatment, co-authored more than 100 peer-reviewed international papers.

Manuel Ignacio Maldonado Rubio (Scopus Author ID: 7102035826)

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 9 Proyectos Nacionales, 12 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 4 libros en Editorial Nacional y co-autor de 20 libros y capítulos de libros en Editorial Internacional, co-autor de 91 publicaciones en revistas científicas internacionales con índice de impacto (factor h=33), más de 116 contribuciones a Congresos y Simposiums internacionales y diversas contribuciones a congresos nacionales.

Manuel Ignacio Maldonado Rubio (Scopus Author ID: 7102035826)

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: 91 paper-reviewed international publications (h index 33), co-author of 4 books as well as 20 chapters in others, 116 communications to international congresses and 4 communications to national congresses. He has involved in 12 European Union research projects (4th, 5th and 6th Framework Programmes), 9 National research projects and 4 R&D Contracts with private companies related with the development of Solar Technologies applied to wastewater treatment.

2.3.3 Miembros del grupo

José Antonio Sánchez Pérez (UAL)



Manuel Ignacio Maldonado (PSA-CIEMAT)



Antonia Pilar Fernández (PSA-CIEMAT)



José Luis Casas López (UAL)



José Luis García Sánchez (UAL)



Isabel María Román Sánchez (UAL)



M^a de la Menta Ballesteros Martín
(UAL-Pablo de Olavide)



Lucas Santos-Juanes Jordá (UAL)



Ana Belén Esteban García (UAL)



Alejandro Cabrera Reina (UAL)



Elisabet Ortega Gómez (UAL)



Irene Carra Ruiz (UAL)



Gracia Rivas Ibáñez (UAL)



2.3.4 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". Universidad de Almería (BIO-263)

Unidad de "Tratamientos Solares de Agua". PSA-CIEMAT

Contactos:

J. L. Casas (jlcasas@ual.es)

S. Malato (sixto.malato@psa.es)

Fuente de financiación:

Junta de Andalucía. Proyecto de Excelencia 2010. (P10-RNM-5951)

Duración prevista:

Julio 2011 – Julio 2016

Situación:

En curso

Resumen:

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.

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.

Objetivos:

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

Resultados durante 2014:

Dentro de los objetivos de este proyecto, el estudio de la desinfección de aguas no pudo realizarse con los efluentes reales de la empresa colaboradora (Cítricos del Andarax) por la elevada salinidad de éstos. Por tanto, se utilizó agua real de secundario de la depuradora municipal de Almería. Se analizó el uso de foto-Fenton solar en CPC a pH neutro para la inactivación de *Escherichia coli* y coliformes totales. Se llevaron a cabo experimentos de control para averiguar los efectos individuales del estrés mecánico, pH, concentración de reactivos, y la radiación UVA así como sus efectos combinados. El efecto germicida sinérgico de UVA con 50 mg/L de H_2O_2 llevó la desinfección hasta el límite de detección de coliformes totales en 120 min. El proceso de desinfección se aceleró por foto-Fenton, logrando la inactivación total en 60 min. La reducción de la concentración de bicarbonato natural que se encuentra en el agua depurada 250-100 mg/L no dio lugar a una mejora significativa en la inactivación bacteriana. Además, se evaluó el efecto del peróxido de hidrógeno y la dosis de hierro. Las mejores condiciones fueron de 50 mg/L de H_2O_2 y 20 mg/L de Fe. Debido a la variabilidad del agua durante las estaciones de otoño e invierno, la constante cinética de inactivación varió entre $0,07 \pm 0,04$ y $0,17 \pm 0,04 \text{ min}^{-1}$. Por otra parte, el agua tratada por foto-Fenton cumplió con el requisito de calidad microbiológica para la reutilización de aguas residuales en el riego de acuerdo con las directrices de la OMS y en particular por la legislación española.

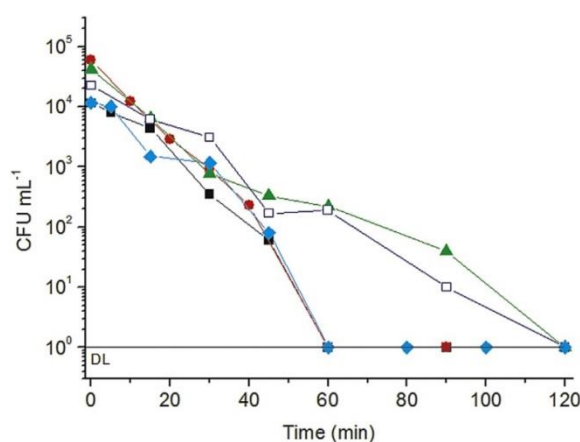


Figura 2.3.4.1. Inactivación de coliformes totales mediante foto-Fenton (50 mg H_2O_2 /L 20 mg Fe^{2+} /L) en cinco réplicas de aguas depuradas recogidas durante un periodo de un año

Otra tarea realizada en 2014 ha sido el estudio de la degradación de microcontaminantes (plaguicidas) adsorbidos en lodos de la depuradora industrial agroalimentaria mediante la desintegración del fango con ultrasonidos. La sonicación de lodos (24 kHz y 323 W) se realizó por lotes en un reactor de flujo acero inoxidable conectado a un tanque de recirculación. La máxima desintegración de lodos se alcanzó con una dosis de 0,87 MJ/L de ultrasonido dando lugar al 68,7% de solubilización del contenido de carbono en la biomasa desintegrada. El lodo sonicado era biodegradable, por lo tanto capaz de ser devuelto al tratamiento secundario de aguas residuales. El tratamiento por ultrasonidos dio lugar a una reducción significativa en el contenido de plaguicida de los lodos (se eliminó el 90% de la masa total de plaguicida). La investigación en el mecanismo de sono-degradación de los dos plaguicidas más abundantes (tiabendazol e imazalil) en disolución acuosa reveló que la degradación principal de microcontaminantes es debida al ataque de radicales hidroxilo.

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.

Objectives:

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

Publicaciones:

- Cabrera Reina, A., Santos-Juanes Jordá, L., García Sánchez, J. L., Casas López, J. L., Maldonado, M. I., Sánchez Pérez, J. A. **Effects of environmental variables on the photo-Fenton plant design.** Chemical Engineering Journal 2014. 237: 469–477
- Rivas Ibáñez, G., Casas López, J. L., Esteban García, B., Sánchez Pérez, J. A. **Controlling pH in biological depuration of industrial wastewater to enable micropollutant removal using a further Advanced Oxidation Process.** Journal of Chemical Technology & Biotechnology 2014. 89(8): 1274-1282
- Ortega-Gómez, E., Esteban García, B., Ballesteros Martín, M.M., Fernández Ibáñez, P., Sánchez Pérez, J. A. **Inactivation of natural enteric bacteria in real municipal wastewater by solar photo-Fenton at neutral pH.** Water Research 2014. 63: 316-324
- Cabrera Reina, A., Santos-Juanes Jordá, L., Casas López, J. L., Maldonado, M. I., García Sánchez, J. L., Sánchez Pérez, J. A. **Biological oxygen demand as a tool to predict membrane bioreactor best operating conditions for a photo-Fenton pretreated toxic wastewater.** Journal of Chemical Technology & Biotechnology 2015. 90 (1): 110-119

2.3.5 Diseño de nuevos reactores para foto-Fenton solar aplicados a la regeneración de aguas. Economía, escalado y control del proceso (SULAYR)**Participantes:**

Grupo de Inv. "Ingeniería de Bioprocesos y Tecnologías del Agua". Universidad de Almería (BIO-263)
Unidad de "Tratamientos Solares de Agua". PSA-CIEMAT

Contactos:

J. A. Sánchez (jsanchez@ual.es)
P. Fernández (pfernandez@psa.es)

Fuente de financiación:

Junta de Andalucía. Proyecto de Excelencia 2012. (P12-RNM-1437)

Duración prevista:

Enero 2014 – Enero 2017

Situación:

En curso

Resumen:

Se han estudiado muchos aspectos acerca del proceso foto-Fenton con el objetivo de conocer los factores que le afectan y poder así mejorar su eficiencia. Un factor importante es el tipo de fotorreactor donde el proceso tiene lugar. Estos fotorreactores se fueron desarrollando a escala experimental en paralelo con las demás aplicaciones de la energía solar y en los primeros años del siglo XXI se aceptó mayoritariamente el uso de plantas basadas en captadores solares cilindro parabólicos compuestos (CPC). Habiendo llegado a un conocimiento del proceso bastante amplio, se plantea el estudio de nuevas plantas de tratamiento que tengan en cuenta el espacio (área) que los fotorreactores ocupan y el volumen de agua que se puede tratar en esta área. Este concepto fue poco estudiado en el desarrollo de las primeras plantas ya que se priorizó en la capacidad de captación solar.

Objetivos:

- Diseñar nuevos fotorreactores solares (configuración del captador, diámetro de tubo, disposición de los tubos) para optimizar tanto la radiación solar incidente como el volumen de agua tratado por unidad de área.
- Diseñar nuevos procesos de control y automatización del reactor para foto-Fenton solar aplicando diversas estrategias de adición de reactivos optimizando su consumo.
- Estudiar el escalado del proceso de regeneración de aguas considerando las variables de diseño del reactor y los objetivos de calidad del agua tratada.
- Realizar un estudio económico detallado de la implantación de los fotorreactores desarrollados para el tratamiento terciario de aguas residuales.

Resultados durante 2014:

La comunicación de la concesión del proyecto de la convocatoria de 2012 fue en noviembre de 2013, siendo la fecha de inicio el 30 de enero de 2014. Se ha recibido el 7% del importe total financiado, aún no se ha resuelto el contrato predoctoral (4 años) ni el posdoctoral (2 años). Del trabajo desarrollado, se destacan aquí dos líneas de investigación por su potencial desarrollo. La primera relacionada con el uso

de reactores tipo “raceway” que ha sido objeto de la solicitud y concesión de un nuevo proyecto del Plan Nacional (REQUA), y la segunda con el uso de lámparas LED.

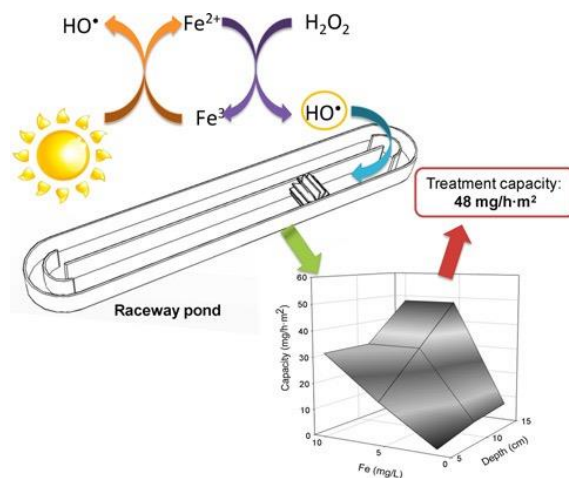


Figura 2.3.5.1. Resumen gráfico de la aplicación de foto-Fenton solar en “raceway”

Los reactores tubulares con colectores parabólicos compuestos, CPC, implican altos costes de inversión. Sin embargo, la aplicación de los reactores menos costosos, como los “raceway pond reactors, RPRs” ayudaría a difundir el uso del proceso foto-Fenton como tratamiento terciario a escala comercial. Los reactores RPRs son fotorreactores extensivos abiertos no concentradores de radiación que permiten tratar grandes volúmenes de agua. Se componen de canales donde el agua se pone en movimiento por un sistema de rueda de paletas. Hasta ahora los RPRs nunca se han utilizado para aplicaciones de procesos de oxidación avanzada. Se ha estudiado la aplicación de RPRs para eliminar microcontaminantes mediante foto-Fenton solar. Para este propósito, se utilizó una mezcla de plaguicidas comerciales acetamiprid (ACTM) y tiabendazol (TBZ) ($100 \mu\text{g/L}$ cada uno) en efluente secundario simulado. La concentración de hierro (1, 5,5 y 10 mg/L) y la profundidad del líquido (5, 10 y 15 cm) fueron las variables de proceso. El TBZ se eliminó al comienzo del tratamiento (menos de 5 min), aunque los tiempos de eliminación del ACTM fueron mayores (20-40 min para las mayores concentraciones de hierro). Se obtuvo una alta capacidad de tratamiento por unidad de superficie ($48 \text{ mg/m}^2 \text{ h}$ con $5,5 \text{ mg Fe/L}$ y 15 cm profundidad del líquido), lo que demuestra la viabilidad de utilizar RPRs para la eliminación de microcontaminantes.

La investigación sobre el uso de LED para el tratamiento de aguas residuales ha aumentado en los últimos años. Los LED son más eficientes que otras lámparas UVC debido a su reducida disipación de calor y mayor vida útil. Sin embargo, la mayoría de los LED de UVC que están actualmente disponibles son de tan baja intensidad que el enorme número de lámparas requeridas para un tratamiento eficiente de aguas residuales hace inviable su aplicación. Por tanto, el desarrollo de UVC-LED de mayor intensidad puede dar lugar a opciones tecnológicas más factibles para procesos de oxidación avanzada a base de UV. Se estudió la eficiencia de las lámparas de LED de UVC de alta intensidad (20 W/m^2) para la eliminación de microcontaminantes con el proceso foto-Fenton. El plaguicida acetamiprid se usó como modelo de contaminante a una concentración de $100 \mu\text{g/L}$ en efluente secundario debido a su naturaleza recalcitrante. También se evaluó con fines comparativos la degradación usando una lámpara de

mercurio de baja presión (LPL). El proceso se aplicó a pH 2,8 y a pH natural. Se calculó la absorción de fotones volumétrico (VRPA) para los resultados a pH ácido, donde el catalizador fue soluble, para investigar la influencia de las concentraciones de hierro y peróxido de hidrógeno sobre la degradación de acetamiprid. Los resultados indicaron la misma contribución de peróxido de hidrógeno y de hierro para la generación de radicales. A pH natural, el sistema de LED de alta intensidad fue eficaz en la eliminación de acetamiprid, en 20 min añadiendo 1 + 1 + 1 mg Fe/L (dosis de hierro secuencial) y 12 mg H₂O₂/L.

Abstract:

Many aspects about the photo-Fenton process have been studied in order to understand the factors that affect it and thus improve efficiency. An important factor is the type of photoreactor where the process takes place. These photoreactors were developed at pilot scale in parallel with other applications of solar energy and the use of plants based on compound parabolic trough solar collectors (CPC) is commonly accepted. The study of new treatment plants that take into account the surface (area) that photoreactors occupy and the volume of water that can be treated in this area arises. This concept was rarely studied in the development of the first plants because it was prioritized in the capacity of solar collection.

Objectives:

- *Designing new solar to optimize both the solar radiation use and the volume of water treated per unit area.*
- *Designing new process control and automation.*
- *Studying the scaling up of the process considering the objectives of quality of treated water.*
- *Economic study of the implementation of the developed photoreactors for tertiary treatment of wastewater*

Publicaciones:

- Carra, I., Santos-Juanes Jordá, L., Acién Fernández, F. G., Malato, S., Sánchez Pérez, J. A. **New approach to solar photo-Fenton operation. Raceway ponds as tertiary treatment technology.** Journal of Hazardous Materials 2014. 279: 322-329
- Carra, I., Sánchez Pérez, J. A., Malato, S., Autin, O., Jefferson, B., Jarvis, P. **Performance of different Advanced Oxidation Processes for tertiary wastewater treatment to remove the pesticide acetamiprid.** Journal of Chemical Technology & Biotechnology 2014. Aceptado 18-10-2014
- Cabrera Reina, A., Santos-Juanes Jordá, L., García Sánchez, J. L., Casas López, J. L., Maldonado, M. I., Li-Puma, G., Sánchez Pérez, J. A. **Modeling the photo-Fenton oxidation of the pharmaceutical paracetamol in water including the effect of photon absorption (VRPA).** Applied Catalysis B: Environmental 2015. 166-167: 295-301
- Carra, I., Sánchez Pérez, J. A., Malato, S., Autin, O., Jefferson, B., Jarvis, P. **Application of high intensity UVC-LED for the removal of acetamiprid with the photo-Fenton process.** Chemical Engineering Journal. 2015. 264: 690-696

2.3.6 Reducción de costes del proceso foto-Fenton solar mediante reactores extensivos abiertos para la regeneración de aguas (REAQUA)**Participantes:**

Unidad funcional "Tecnologías avanzadas para la regeneración de aguas"

Unidad funcional "Evaluación analítica de tratamientos de aguas y análisis ambiental"

Contactos:

J. A. Sánchez (jsanchez@ual.es)

Agüera (aaguera@ual.es)

Fuente de financiación:

Ministerio de Economía y Competitividad. (CTQ2013-46398-R)

Duración prevista:

Enero 2014 – Diciembre 2016

Situación:

En curso

Resumen:

La información referente a este proyecto puede consultarse en el apartado 2.2.5 de este informe ya que se trata de un proyecto compartido con la unidad de Evaluación analítica de tratamientos de aguas y análisis ambiental.

2.3.7 SFERA II. Photochemical degradation of carbapenem antibiotics in aqueous solutions under solar irradiation**Participantes:**

Unidad funcional "Evaluación analítica de tratamientos de aguas y análisis ambiental"
Unidad funcional "Tecnologías avanzadas para la regeneración de aguas"

Contactos:

A. Agüera (aaguera@ual.es)
J.A. Sánchez Pérez (jsanchez@ual.es)

Fuente de financiación:

Programa SFERA II (Solar Facilities for the European Research Area)

Duración prevista:

Septiembre 2014

Situación:

Finalizado

Resumen:

La información referente a este proyecto puede consultarse en el apartado 2.2.6 de este informe ya que se trata de un proyecto compartido con la unidad de Evaluación analítica de tratamientos de aguas y análisis ambiental.

2.3.8 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". Universidad de Almería (BIO-263)

Unidad de "Tratamientos Solares de Agua". PSA-CIEMAT

Contactos:

J. A. Sánchez (jsanchez@ual.es)

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

Fuente de financiación:

Vicerrectorado de Infraestructuras, Campus y Sostenibilidad. Acuerdo de colaboración con la Universidad de Almería

Duración prevista:

Julio 2010 – Julio 2015

Situación:

En curso

Resumen:

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.

Objetivo:

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 2014:

Tras la instalación de un MBR de 1 m³ al día de capacidad de tratamiento que opera en continuo, y el diseño y construcción de un reactor para foto-Fenton combinado como postratamiento con el MBR, se han obtenido aguas regeneradas para riego de jardines.

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.

Publicaciones:

N.A.

2.3.9 Optimización del proceso de tratamiento de aguas ácidas mediante membranas (ósmosis inversa)**Participantes:**

Grupo de Inv. "Ingeniería de Bioprocesos y Tecnologías del Agua". Universidad de Almería (BIO-263)

Contactos:

J. A. Sánchez (jsanchez@ual.es)

Fuente de financiación:

Sociedad Anónima de Depuración y Tratamientos, SADYT. FEDER 2013. (Orden CIN/1729/2011)

Duración prevista:

Julio 2012 – Diciembre 2014.

Situación:

Finalizado

Resumen:

En esta línea de investigación se va a estudiar la efectividad de los tratamientos de membranas para el tratamiento del agua del río Odiel, contaminada por distintos materiales procedentes de actividades mineras, fundamentalmente metales, metales pesados y otras materias inorgánicas, así como la reducción de los costes de dicho tratamiento por reducción del consumo de energía. La tecnología utilizada será la ósmosis inversa, a la que habrá que dotar de un potente pretratamiento dado que esta agua es muy complicada de tratar por membranas debido a la presencia de metales como el hierro y el aluminio, que pueden ensuciar las membranas de forma irreversible.

Objetivo:

El objetivo general es desarrollar un proceso de tratamiento mediante membranas de ósmosis inversa con vertido cero (líquido) del agua para la mejora de la calidad del agua de la presa de Alcolea, sostenible ambiental, energética y económicamente.

Resultados durante 2014:

Declarados confidenciales

Abstract:

In this line of research the effectiveness of membrane treatments for Odiel river water is studied. This water is polluted with various materials from mining activities, mainly metals, heavy metals and other inorganic materials. The technology used is reverse osmosis. The overall objective is to develop a treatment using reverse osmosis membranes with zero discharge (liquid) to improve water quality with the goal of sustainability, energy and cost savings.

Publicaciones:

N.A.

2.3.10 Aplicación de la energía solar térmica a la desalación**Participantes:**

Grupo de Inv. "Ingeniería de Bioprocesos y Tecnologías del Agua". Universidad de Almería (BIO-263)

Unidad de "Unidad de Desalación Solar". PSA-CIEMAT

Contactos:

J. A. Sánchez (jsanchez@ual.es)

D. Alarcón (diego.alarcon@psa.es)

Fuente de financiación:

CIEMAT

Duración prevista:

Abril 2012 – Diciembre 2014

Situación:

Finalizado

Resumen:

El proceso de destilación multiefecto-bomba de calor alimentado mediante captadores solares es el proceso de destilación solar existente de mayor eficiencia, duplicando la de la tecnología más eficiente hasta el año 2006: la destilación multiefecto alimentada mediante captadores cilindroparabólicos. Sin embargo, es preciso probar experimentalmente su funcionamiento, ya que el sistema existente en la Plataforma Solar de Almería no ha operado alimentando la bomba de calor solarmente.

Objetivos:

El objetivo general de este proyecto es avanzar en el desarrollo de la tecnología de destilación solar más eficiente, la destilación multiefecto (MED) acoplada a una bomba de calor de absorción de doble efecto (DEAHP) hasta establecer el diseño precomercial de un sistema solar optimizado. Para ello se fijan los siguientes objetivos específicos:

Evaluación experimental de la tecnología MED-DEAHP con aporte energético solar conectando el sistema existente en la Plataforma Solar de Almería a un campo de captadores cilindroparabólicos (ACUREX) que se encuentra junto al sistema.

Optimización técnico-económica del diseño del sistema solar MED-DEAHP optimizando el de cada subsistema y estableciendo un diseño final precomercial.

Resultados durante 2014:

Declarados confidenciales

Abstract:

The multi-effect distillation process-heat pump is powered by solar panels doubling that of the most efficient technology until 2006: the multi-effect distillation powered by trough collectors. However, it is necessary to experimentally test its operation, as the existing system at the Plataforma Solar de Almería has not operated feeding solar-heat pump. The overall objective of this project is to advance the development of the more efficient solar distillation technology, multi-effect distillation (MED) coupled to a heat pump of double-effect absorption (DEAHP) to establish the design of a precomercial optimized Solar system.

Objectives:

- *Experimental evaluation of MED-DEAHP technology with solar energy input by connecting the existing system at the Plataforma Solar de Almería to a trough collector field (ACUREX) located next to the system.*
- *Technical-economic optimization of the design of the solar system MED-DEAHP optimizing each subsystem and establishing a precommercial final design.*

Publicaciones:

N.A.

2.3.11 Transferencia y Actividades Complementarias

N.A.

2.3.12 Otros

En octubre de 2014 se presentó para su evaluación en la **convocatoria de proyectos LIFE+ de la Unión Europea el proyecto titulado “Retos del agua de consumo humano en el siglo XXI: demostración de tecnologías para la eliminación de radiactividad natural en aguas subterráneas / Challenges of drinking water in the XXI Century: demonstration of technologies for the removal and on-line monitorization of natural radioactivity, Aura XXI”**. La solicitud del proyecto ha sido liderada por el centro tecnológico CARTIF, y como socios, además de CIESOL, han participado la Diputación Provincial de Almería, la empresa LABAQUA, del ámbito de los laboratorios de análisis, y el Centro Tecnológico del Agua (CETAQUA).

El grupo de investigadores del CIESOL que participará en el proyecto en el caso de que este sea financiado estará formado por José Antonio Sánchez Pérez, Manuel Pérez García, Francisco Rodríguez Díaz, Manuel Berenguel Soria y José Luis Guzmán Sánchez y José Luis Casas López, siendo este último el que asumirá las tareas de investigador principal. El coste total del proyecto asciende a 1,86 millones de euros de los que 190.819 euros corresponden con el subproyecto que desarrollará CIESOL.

Resumen del proyecto:

LIFE AURA XXI aborda uno de los retos actuales del agua de consumo humano como es la presencia de radiactividad natural en las fuentes de abastecimiento. Se trata de un problema ambiental que no puede eliminarse en origen, ya que se genera por la disolución en las aguas subterráneas de minerales presentes en el subsuelo con alto contenido en isótopos radiactivos de la familia del uranio (U) y del radio (Ra) principalmente. Existe además un considerable desconocimiento por parte de los distintos actores implicados y puede decirse que a día de hoy y a pesar de la legislación vigente, el control de la radiactividad no se realiza de manera sistemática a nivel nacional ni Europeo. Por tanto, es necesario el desarrollo de sistemas que permitan el tratamiento de la radiactividad de manera sostenible, desde el punto de vista de su coste-eficacia y teniendo en cuenta el ciclo de vida de los residuos radiactivos generados.

LIFE AURA XXI propone un avance en esta problemática desde dos puntos de vista. Por un lado, la demostración de sistemas de eliminación basados en lechos filtrantes, como alternativa a los tratamientos de ósmosis inversa, que son los más usados para esta aplicación en la actualidad. Se pondrán en funcionamiento 3 prototipos con diferentes materiales adsorbentes para la eliminación selectiva de U y Ra, que se instalarán en línea con 3 potabilizadoras existentes en la provincia de Almería. Las plantas piloto contarán con suministro de energía a partir de módulos fotovoltaicos y se desarrollarán estrategias de modelado, gestión y control para optimizar la demanda hídrica y los consumos de energía. Al objeto de realizar estudios comparativos de explotación de los distintos sistemas, se monitorizarán en paralelo 10 plantas potabilizadoras por ósmosis inversa en servicio. Por otro lado, se validará un nuevo sensor para la

detección on line de radiactividad en continuo, que pretende sustituir o complementar a los métodos tradicionales actuales de medida, que se realizan en laboratorios externos y suponen un mínimo de 15 días de demora entre la recogida de la muestra y los resultados analíticos. Este nuevo sensor supondrá un gran avance en el control de las plantas potabilizadoras y permitirá la toma de decisiones en tiempo real.

Las acciones demostrativas del proyecto se llevarán a cabo en la provincia de Almería (España) y pretenden constituir un ejemplo real de los beneficios ambientales, operacionales y económicos asociados a los sistemas LIFE AURA XXI

2.4 ACTIVIDADES EN MODELADO Y CONTROL AUTOMÁTICO

A esta unidad funcional pertenecen investigadores del grupo "Automática, Robótica y Mecatrónica" (TEP 197) de la Universidad de Almería y de la Unidad de Automática de la Plataforma Solar de Almería. El grupo TEP-197 tiene entre sus ámbitos de trabajo la agricultura intensiva, la energía solar, la biotecnología y la bioingeniería, además de la educación en automática, mecanización y robótica en general. Las actividades colaborativas entre el grupo y la PSA vienen desarrollándose de forma ininterrumpida a lo largo de los últimos 20 años, siendo destacable la participación de investigadores de la UAL en el desarrollo algunos de los sistemas SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) de lazos de ensayo ubicados en las instalaciones de la PSA. A raíz de las experiencias adquiridas en el proyecto ARFRISOL, el grupo tiene también una línea de actuación vinculada a las aplicaciones de los sistemas de control al confort térmico y la eficiencia energética en la edificación.

2.4.1 Líneas estratégicas del grupo.

Las principales líneas estratégicas del grupo son las siguientes:

- Modelado y control de plantas termosolares.
- Modelado, control y robótica en agro-industria.
- Eficiencia energética y control de confort en edificios.
- Modelado y control de fotobiorreactores.
- Redes energéticas inteligentes.
- Sistemas de supervisión y comunicaciones industriales.

Main research lines:

- *Modeling and control of thermosolar plants.*
- *Modeling, control and robotics in agriculture.*
- *Energy efficiency and comfort control in buildings.*
- *Engineering Education.*
- *Modeling and control of photobioreactors.*
- *Electric vehicles.*
- *Predictive and robust control.*
- *Supervisory systems and industrial communications.*

2.4.2 Investigadores principales del grupo

Manuel Berenguel Soria (Scopus Author 6701834872)

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. Sus principales líneas de investigación son el control predictivo y jerárquico con aplicaciones a sistemas energéticos (incluyendo energía solar), agricultura y biotecnología. Ha sido Vicerrector de TIC en la Universidad de Almería (2007-2012) y es responsable del grupo "Automática, Robótica y Mecatrónica" de dicha Universidad (código TEP-197, <http://arm.ual.es>) desde 2000. Ha participado en más de 60 proyectos I+D y en más de 30 contratos con empresas. Es co-autor de los libros *Advanced Control of Solar Plants* (Springer, 1997), *Control of Solar Energy Systems*

(Springer, 2012), *Control Automático con Herramientas Interactivas* (Pearson Education, 2012), *Comfort Control in Buildings* (Springer, 2014) y *Modeling and Control of Greenhouse Crop Growth* (Springer, 2014). Ha dirigido 14 tesis doctorales sobre estos temas. Ha publicado 103 trabajos en revistas internacionales, 143 trabajos en congresos internacionales y 4 patentes. H-index: 29 (google scholar), 21 (scopus with auto-cites), 17 (scopus and WOS without auto-cites). Ha participado en el Comité Internacional de Programa de 8 congresos internacionales y 3 congresos nacionales, actuando como *chairperson* en muchas ocasiones. Es revisor de más de 10 importantes revistas internacionales (con más de 100 trabajos revisados) y desde 2013 es editor adjunto de la Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial (indexada). Es vocal del Comité Español de Automática (2003-2008, 2012-), miembro de la *IEEE Control System Society* (desde 2000) y miembro de varios Comités Técnicos de la IFAC (TC 8.01 *Control in Agriculture*, TC 6.3. *Power and Energy Systems* and TC 8.4 *Biosystems and bioprocesses*). Es miembro del Comité de Coordinación y Seguimiento del Centro Mixto CIESOL entre la Universidad de Almería y CIEMAT desde 2005 y organizador de las Jornadas de Automática en 2006. En la actualidad es representante de la Universidad de Almería en la Fundación "Centro Tecnológico Avanzado de Energías Renovables (CTAER), actuando como Vice-Presidente.

Manuel Berenguel (Scopus Author 6701834872)

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. His research interests include control education and in predictive and hierarchical control, with applications to solar energy systems, agriculture, and biotechnology. He has been Vice-Rector of ICT at University of Almería (2007-2012) and is the head of the research group "Automatic Control, Robotics and Mechatronics" (<http://arm.ual.es>) from 2000. He has participated in more than 60 R&D projects and 30 contracts with companies. He is co-author of the books Advanced Control of Solar Plants (Springer, 1997), Control of Solar Energy Systems (Springer, 2012), Control Automático con Herramientas Interactivas (Pearson Education, 2012), Comfort Control in Buildings (Springer, 2014) and Modeling and Control of Greenhouse Crop Growth (Springer, 2014). He has been director of 14 PhD Thesis in these lines. He is co-author of 103 international journal papers, 143 papers in international conferences and 4 patents. H-index: 29 (google scholar), 21 (scopus with auto-cites), 17 (scopus and WOS without auto-cites). He has participated in the International Program Committee of 8 international conferences and 3 national conferences, where he has been chairman in many occasions. He is reviewer of more than 10 renowned international journals (more than 100 reviews) and from 2013 is adjoin-director of the journal Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial (indexed in SCI). He has been member of the board of Governors of the Comité Español de Automática (main Spanish Association in Automatic Control) from 2003 to 2008 and 2012-now, member of IEEE Control System Society from 2000 and member of the IFAC Technical Committees TC 8.01 Control in Agriculture, TC 6.3. Power and Energy Systems and TC 8.4 Biosystems and bioprocesses and member of the Coordination and management committee of the Mixed R&D Center CIESOL between the University of Almería and CIEMAT- Spanish Research Center in Energy, Environment and Technology (from 2005). He is also He was the organizer of the XXVII Jornadas de Automática (the annual meeting of the Spanish Automatic Control Committee) in 2006. At present, he is representative of the University of Almería in the Advanced Renewable Energy Technological Centre (CTAER), acting as Vice-President.

Luis José Yebra Muñoz (Scopus Author 15926309900)

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.

Luis José Yebra (Scopus Author 15926309900)

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.

2.4.3 Miembros del grupo

Manuel Berenguel Soria (UAL)



Manuel Pérez García (UAL)



Francisco Rodríguez Díaz (UAL)



José Luis Guzmán Sánchez (UAL)



José Carlos Moreno Úbeda (UAL)



Luis José Yebra Muñoz (PSA-CIEMAT)



Lidia Roca Sobrino (PSA-CIEMAT)



Javier Bonilla Cruz (PSA-CIEMAT)



Alberto de la Calle Alonso (PSA-CIEMAT)



Luis Castillo López (PSA-CIEMAT)



José Domingo Álvarez Hervás (UAL)



Manuel Pasamontes Romera (UAL)



María del Mar Castilla Nieto (UAL)



Ricardo Silva Parreira (UAL)



Fco. Javier Cabrera Corral (UAL)



2.4.4 Estrategias de control y gestión energética en entornos productivos con apoyo de energías renovables (ENERPRO – Control and energy management strategies in production environments with support of renewable energy)

Participantes:

Grupo de Inv. "Automática, Robótica y Mecatrónica". Universidad de Almería (TEP 197)
PSA-CIEMAT

Contactos:

M. Berenguel (beren@ual.es)
M. Pérez (mperez@ual.es)
D. Alarcón (diego.alarcon@psa.es)

Fuente de financiación:

Ministerio de Economía y Competitividad. Plan Nacional 2014 (en evaluación, DPI2014-56364-C2-R)

Duración prevista:

Enero 2015 – Diciembre 2017

Situación:

En proceso de evaluación

Resumen:

Este proyecto es una continuación del proyecto "Estrategias de control y supervisión para la gestión integrada de instalaciones en entornos energéticamente eficientes - POWER" (DPI2010-21589-C05), finalizado en diciembre de 2013 (subproyecto UAL) y diciembre de 2014 (subproyecto PSA-CIEMAT). Este proyecto trata sobre el análisis, diseño y aplicación de técnicas de modelado, control y optimización (en el ámbito del control jerárquico y control predictivo basado en modelo MPC) para conseguir una gestión eficiente de energía (electricidad y calor/frío de proceso), agua y CO₂, en sistemas productivos apoyados en energías renovables y sistemas de almacenamiento. Mediante una gestión óptima de estos recursos y la adaptación de la generación a la demanda, se pretende demostrar que el control automático permite conseguir ahorros económicos y reducir el impacto medioambiental en la explotación de procesos complejos.

En esta temática han surgido conceptos como el de micro-grids (MG), relacionados con el uso eficiente de la energía eléctrica, renewable heating and cooling (RHC), en el ámbito del aporte de energía primaria basada en fuentes renovables y water efficiency (WE), en torno al manejo del agua. El paradigma tratado en este proyecto va más allá, pues tratará de forma integral y coordinada el manejo de los citados recursos heterogéneos con un enfoque basado en la eficiencia y la economía. El problema se compone de diferentes niveles de control y decisión sobre el uso final de la energía disponible en base a distintos objetivos (minimizar el uso de combustibles, aspectos económicos, medioambientales o de calidad, etc.) Esto da lugar a un problema de control jerárquico que requiere coordinación y cooperación entre diferentes sistemas y que será abordado incluyendo técnicas de control predictivo jerárquico e híbrido, en versiones centralizadas y distribuidas. También será necesario desarrollar modelos, estimadores y predictores para las etapas de generación y demanda de energía y agua. Un elemento diferenciador del proyecto es que se dispondrá de un sistema productivo real como planta demostrativa (incluyendo un edificio bioclimático, un invernadero, un vehículo eléctrico y una desaladora solar), sobre el que se validarán las técnicas de modelado y control desarrolladas.

Objetivos:

Los tres objetivos básicos del proyecto coordinado son:

- Desarrollo de metodologías para la obtención de modelos de procesos que contengan fuentes de energías renovables para producir/consumir calor y frío de proceso, electricidad, agua y CO₂. Desarrollo de estimadores y predictores de las etapas de generación y demanda.
- Desarrollo de estrategias de gestión y control jerárquico, híbrido y predictivo para conseguir optimizar la producción desde los puntos de vista económico, de seguridad y de uso de energía y agua en sistemas heterogéneos, con un enfoque coordinado e integral.
- Implementación y validación de las estrategias en el sistema productivo de demostración. Esto facilitará el desarrollo de las diferentes tareas del proyecto sobre situaciones realistas. Se demostrarán las posibilidades de extensión a entornos más complejos tipo campus o cluster industrial.

El cumplimiento de estos objetivos representa una contribución significativa con impacto real en esta clase de procesos, como demuestra el interés que ha despertado en diferentes empresas tales como Fundación Cajamar, Unica Group SCA, Wagner Solar, Solar Jiennense, entre otras. La propuesta es una continuación natural de actividades conjuntas de los dos centros, que poseen una considerable experiencia en control de sistemas energéticos, soportada por los numerosos artículos publicados en revistas de prestigio y relaciones con grupos de investigación internacionales.

Resultados durante 2014:

Durante 2014 se han seguido realizando publicaciones en el ámbito del proyecto POWER y se han comenzado algunos relacionados con el proyecto ENERPRO (aunque se encuentre en proceso de evaluación).

- Desalación. Se ha llevado a cabo el modelado dinámico de una unidad de destilación multi-efecto (MED) con apoyo solar usando una metodología de modelado orientado a objetos. Este modelo se basa en primeros principios y ha sido calibrado y validado con datos reales de la MED de la PSA. Este modelo se ha utilizado para realizar un estudio preliminar de viabilidad de obtención de energía osmótica de la salmuera producida por la destilación multi-efecto a través de una técnica osmótica con presión retardada. También se ha desarrollado un modelo dinámico de una bomba de calor por absorción de doble efecto (DEAHP) ubicada en la planta piloto AQUASOL usando también una metodología de modelado orientado a objetos, que ha sido validada con datos reales.
- Invernaderos. Los modelos de desalación previos se han combinado con modelos dinámicos de invernaderos con la finalidad de combinar un sistema de producción de agua potable y uno de consumo de agua. El objetivo ha sido operar de forma adecuada la planta desaladora para producir diariamente el agua demandada por el cultivo del invernadero haciendo uso eficiente de la energía y teniendo en cuenta las perturbaciones provocadas por variaciones en la radiación solar. También se han añadido actuadores (deshumidificadores y sistemas de

calefacción basados en biomasa), habiéndose modelado su efecto en el clima del invernadero y se ha modelado el consumo energético (eléctrico y combustible) mediante redes neuronales. Se han implementado técnicas de control jerárquico RTO-EMPC, robusto QFT y predictivo combinando todos los actuadores disponibles.

- Edificio CIESOL. Se ha desarrollado un modelo basado en primeros principios de las variables climáticas y de confort (térmico y de calidad de aire) de los diferentes habitáculos del edificio, así como un modelo del consumo eléctrico del edificio mediante redes neuronales. Además, se ha seguido trabajando en el modelado del confort lumínico. También se han evaluado técnicas de control predictivo del confort lumínico y de calidad del aire y de control borroso y técnicas de control MPC distribuido de varios habitáculos para gestionar la demanda energética de diferentes recintos que tengan en común una misma fuente de energía. Se ha diseñado un marco para el confort lumínico de las diferentes salas combinando luz artificial con iluminación natural mediante persianas tipo venecianas con dos grados de libertad.
- Vehículo eléctrico. Se han validado los modelos cinemático, dinámico, eléctrico, consumo energético y estado de las baterías. Se ha implementado un sistema de control jerárquico para la generación y seguimiento de trayectorias y de control de orientación y velocidad del vehículo, teniendo en cuenta criterios de seguimiento de consignas y de ahorro energético que se traduce en un problema multiobjetivo.

Durante 2014 y en 2015 se ha comenzado a trabajar en la gestión integral del sistema productivo constituido por el edificio, la desaladora, el invernadero y un vehículo eléctrico, proponiendo arquitecturas de control jerárquico multinivel y multiobjetivo, teniendo en cuenta el coste de la energía, la demanda y los precios de mercado.

Abstract:

This project deals with the analysis, design and application of modeling, control and optimization techniques (in the framework of hierarchical and model-based predictive control, MPC) to achieve an efficient energy (electricity and process heat/water), water and CO2 management in production environments with support of renewable energy and storage systems. Through optimal management of these resources and by adapting generation to demand, it should be demonstrated how automatic control allows to achieve cost savings and reduce the environmental impact on the operation of complex processes.

Around this theme, concepts like micro-grids (MG), related to the efficient use of electricity, renewable heat and cooling (RHC), in the area of primary energy supply from renewable sources and water efficiency (WE), around adequate use of water have arisen. The paradigm treated in this project goes beyond, since it treats comprehensive and coordinated management of those heterogeneous resources focusing on efficiency and economics. The problem is composed by different control and decision levels about the final use of the available energy based on different objectives (minimizing the use of conventional fossil energy sources, economic, environmental and quality aspects, etc.) This gives rise to a hierarchical control problem that requires coordination and cooperation between systems and that will be addressed using hierarchical and hybrid predictive control techniques, both in centralized and distributed versions. It will be

also necessary to develop models, estimators and predictors of the energy generation and demand stages.

A key element of the project is that a real production system will be use as test-bed plant (including a bioclimatic building, a greenhouse, an electric vehicle and a solar desalination plant), on which the developed modeling and control techniques will be validated.

Objectives:

The three basic objectives of the coordinated project are:

- Development of methodologies for obtaining models of processes that contain renewable energy sources to produce/consume process heat, electricity, water and CO₂. Development of estimators and predictors of generation and demand stages.
- Development of hierarchical, hybrid and, in general, MPC control and management strategies to optimize production from the economic, security and energy and water use points of view in heterogeneous systems, using a coordinated and comprehensive approach.
- Implementation and validation of the strategies in the production environment selected as test-bed plant. This will facilitate the development of the different tasks of the project over realistic conditions. Possible extensions to more complex environments like campus or industrial clusters will be demonstrated.

The fulfilment of the preceding goals represents a significant contribution with real impact in this class of processes as evidenced by the interest shown by firms like Fundación Cajamar, Unica Group SCA, Wagner Solar, Solar Jiennense, naming only a few. The proposal is also a natural continuation follow-up of previous work carried out the research groups integrating the project. The team has a remarkable experience in control systems backed by many papers published in some of the most cited scientific journals and relationships with international research teams.

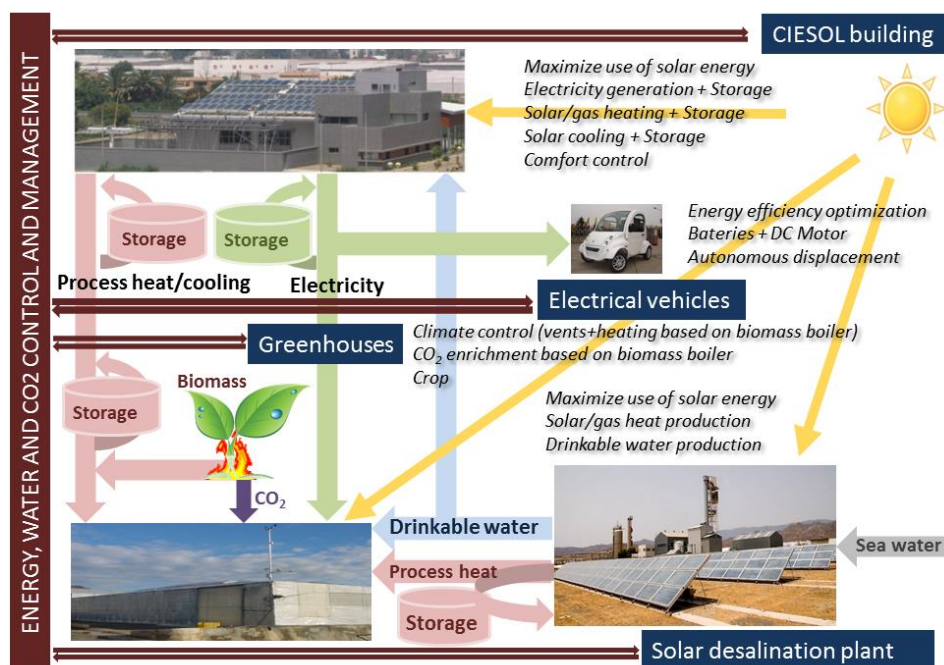


Figura 2.4.4.1. Proyecto ENERPRO

Publicaciones.

Revistas

- Americano da Costa, M., Pasamontes, M., Normey-Rico, J., Guzmán, J.L., Berenguel, M. **An advanced control strategy combined with solar cooling for improving ethanol production in fermentation units.** *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 53, 11384-11392, 2014. Impact factor 2.234, 36/133 Q2 (Engineering, Chemical).
- Andrade, G.A., Pagano, D.J., Álvarez, J.D., Berenguel, M. **Sliding mode control of distributed parameter processes: Application to a solar power plant.** *Journal of Control, Automation and Electrical Systems*, 25, 291-302, 2014.
- Beschi, M., Dormido, S., Sánchez, J., Visioli, A., Yebra, L.J. **Event-based PI plus feedforward control strategies for a distributed solar collector field.** *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 22(4), 2014.
- Bonilla, J., Dormido, S., Cellier, F. E. (2015). **Switching moving boundary models for two-phase flow evaporators and condensers.** *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 20(3), 743–768. doi:10.1016/j.cnsns.2014.06.035
- Camacho, E.F., Berenguel, M., Gallego, A. **Control of thermal solar energy plants.** *Journal of Process Control*, 24(2), 332-340, 2014. Impact factor 2.179, 14/59 Q1 (Automation & Control Systems), 38/133 Q2 (Engineering, Chemical).
- Castilla, M., Álvarez, J.D., Normey-Rico, J.E., Rodríguez, F. **Thermal comfort control using a non-linear MPC strategy: A real case of study in a bioclimatic building.** *Journal of Process Control*, 24(6), 703-713, 2014. DOI: 10.1016/j.jprocont.2013.08.009
- Castilla, M., Bonilla, J., Álvarez, J. D., Rodríguez, F. (2014). **A room simulation tool for thermal comfort control in a bioclimatic building: A real example of use with an optimal controller.** *Optimal Control Applications and Methods*. doi:10.1002/oca.2116
- De la Calle, A., Bonilla, J., Roca, L., Palenzuela, P. (2014). **Dynamic modeling and performance of the first cell of a multi-effect distillation plant.** *Applied Thermal Engineering*, 70, 410–420.
- De la Calle, A., Bonilla, J., Roca, L., Palenzuela, P. (2015). **Dynamic modeling and simulation of a solar-assisted multi-effect distillation plant.** *Desalination*, 357, 65–76. doi:10.1016/j.desal.2014.11.008
- González, R., Roca, L., Rodríguez, F. (2014). **Economic optimal control applied to a solar seawater desalination plant.** *Computers and Chemical Engineering*, 71, 554–562. doi:10.1016/j.compchemeng.2014.10.005
- Mena, R., Rodríguez, F., Castilla, M., Arahál, M.R. **A prediction model based on neural networks for the energy consumption of a bioclimatic building.** *Energy and Buildings*, 82, 142-155, 2014.
- Pawlowski, A., Cervin, A., Guzmán, J.L., Berenguel, M. **Generalized predictive control with actuator deadband for event-based approaches.** *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 10(1), 523-537, 2014. Impact factor 8.785, 1/59 Q1 (Automation & Control Systems), 1/102 Q1 (Computer Science, Interdisciplinary Applications), 1/34 Q1 (Engineering, Industrial).
- Roca, L., Diaz-Franco, R., de la Calle, A., Bonilla, J., Vidal, A. (2014). **A control based on a knapsack problem for solar hydrogen production.** *Optimal Control Applications and Methods*. doi:10.1002/oca
- Roca, L., Diaz-Franco, R., de la Calle, a., Bonilla, J., Yebra, L. J., Vidal, A. (2014). **A Combinatorial Optimization Problem to Control a Solar Reactor.** *Energy Procedia*, 49, 2037–2046. doi:10.1016/j.egypro.2014.03.216
- Rodríguez, C., Guzmán, J.L., Berenguel, M., Häggglund, T. **Optimal feedforward compensators for systems with right-half plane zeros.** *Journal of Process Control*, 24, 368-374, 2014. Impact factor 2.179, 14/59 Q1 (Automation & Control Systems), 38/133 Q2 (Engineering, Chemical).
- Scherer, H.F., Pasamontes, M., Guzmán, J.L., Álvarez, J.D., Camponogara, E., Normey-Rico, J.E. (2014) **Efficient building energy management using distributed model predictive control.** *Journal of Process Control*, 24(6), 740-749.
- Torres J.L., González, R., Fernández, A., López, J. **Energy management strategy for plug-in hybrid electric vehicles. A comparative study.** *Applied Energy*, 113(81), 816-824, 2014.

- Touati, K., de la Calle, A., Tadeo, F., Roca, L., Schiestel, T., & Alarcón-Padilla, D.-C. (2014). **Energy recovery using salinity differences in a multi-effect distillation system**. *Desalination and Water Treatment*, (July), 1–8. doi:10.1080/19443994.2014.940648
- Yebra, L.J., D. Fernández. **Comparison case between Modelica and Specialized Tools for Building Modelling**. Mathmod 2015, Vienna, Austria, 2015.

Libros:

- Castilla, M., Álvarez, J.D., Rodríguez, F., Berenguel, M. **Comfort control in buildings**, Springer, 2014. ISBN 978-1-4471-6346-6.
- Castilla, M., Álvarez, J.D., Rodríguez, F., Berenguel, M. **Un ejemplo práctico de arquitectura bioclimática: el edificio CDdI-CIESOL-ARFRISOL**. Domótica para Ingenieros, Paraninfo 2015 (en prensa).

Congresos:

- Castilla, M., Álvarez, J.D., Normey-Rico, J.E., Rodríguez, F., Berenguel, M. **Control predictivo no lineal del confort térmico y calidad de aire. Un caso de estudio en un edificio bioclimático**. XXXV Jornadas de Automática, Valencia, España, 2014.
- Castilla, M., Mena, R., Álvarez, J.D., Rodríguez, F., Pérez, M. **A comparative analysis of room air temperature modelling for control purposes**. International Conference on Solar Energy and Buildings, Aix-Les-Bains, France, 2014.
- Roca, L., J.L. Guzmán, J.E. Normey-Rico, M. Berenguel. **Filtered Smith Predictor with nonlinear model applied to a solar field**. 13th European Control Conference ECC-2014, 773-777, Strasbourg, France, 2014.
- Roca, L., F. Rodríguez, J. Sánchez-Molina, J. Bonilla (2014). **Solar desalination management to fulfill greenhouse water demand**. In Jornadas de Automática 2014, Valencia, Spain.
- Rodríguez-Gil, D., R. Silva, F.J. Cabrera, M. Pérez. **Design of a High Solar Fraction Parabolic Trough Solar Plant for an Industrial Laundry in Southern Spain**. Gleisdorf Solar 2014 - International Conference on Solar Heating and Cooling, Gleisdorf, Austria, 2014.
- Torres, J.L., J.L. Blanco, E. Sanjurjo, M. Naya, A. Giménez. **Towards Benchmarking of State Estimators for Multibody Dynamics**. 3rd Joint International Conference on Multibody System Dynamics, Busan, Corea, 2014.
- Torres, J.L., J.L. Blanco, M. Bellone, F. Rodríguez, A. Giménez, G. Reina. **A proposed software framework aimed at energy-efficient autonomous driving of electric vehicles**. International Conference on Simulation, Modelling, and Programming for Autonomous Robots, Bergamo, Italy, 2014.
- Touati, K., A. de la Calle, F. Tadeo, L. Roca, T. Schiestel, D.C. Alarcón-Padilla (2014). **Energy recovery using salinity gradients in multi-effect distillation systems**. In Conference on Desalination for the Environment Clean Water and Energy, Limassol, Cyprus.

Tesis Doctorales:

Event-based and model-based control strategies with applications to solar energy systems.

Doctorando: Manuel Beschi. International Ph. D. Thesis.

Directores: Antonio Visioli / Manuel Berenguel

Fecha de lectura: 10/04/2014, Università degli Studi di Brescia, Italy

Trabajos Fin de Grado:

Métodos de optimización estocásticos en centrales heliotérmicas de torre.

Estudiante: Nicolás Calvo Cruz

Titulación: Grado en Ingeniería Informática (Universidad de Almería)

Directores: Pilar M. Ortigosa/Manuel Berenguel

Fecha de defensa: 25/09/2014

Modelado del sistema de almacenamiento de energía y del controlador del motor para un vehículo eléctrico TESUR.

Estudiante: Adrian Paul Kurucz

Titulación: Grado en Ingeniería Electrónica Industrial (Universidad de Almería)

Directores: Francisco Rodríguez/José Luis Blanco

Fecha de defensa: 25/09/2014

Modelado y control de la dirección de un vehículo eléctrico.

Estudiante: Jerónimo Ramos Teodoro

Titulación: Grado en Ingeniería Mecánica (Universidad de Almería)

Directores: José Luis Blanco/Francisco Rodríguez

Fecha de defensa: 25/09/2014

Diseño de un sistema de control del confort lumínico en el interior de edificios basado en lógica difusa.

Estudiante: José Manuel Rodríguez Torres

Titulación: Grado en Ingeniería Electrónica Industrial (Universidad de Almería)

Directores: Francisco Rodríguez/María del Mar Castilla

Fecha de defensa: 25/09/2014

2.4.5 Simulación y control de instalaciones termosolares de captadores cilindroparabólicos en aplicaciones industriales y de refrigeración**Participantes:**

Grupo de Inv. "Automática, Robótica y Mecatrónica". Universidad de Almería (TEP 197)
Unidad de "Concentración Solar". PSA-CIEMAT

Contactos:

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

Fuente de financiación:

Junta de Andalucía. Proyecto de Excelencia 2010. (P10-RNM-5927)

Duración prevista:

Marzo 2011 – Marzo 2015

Situación:

En curso

Resumen:

Desarrollos recientes por parte de diversos fabricantes y organismos de investigación de concentradores cilindroparabólicos 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 100 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, es necesaria 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 que permitan la generación de proyectos de ejecución abordables. 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 cilindroparabólicos para generación de calor de proceso" realizado en colaboración de la Fundação para a Ciência e a Tecnologia de Portugal.

Objetivos:

Elaboración de pautas de demanda térmica en instalaciones industriales y de refrigeración orientadas a la simulación dinámica de proyectos de integración de campos de captadores cilindroparabólicos.

Elaboración de una base de datos de elementos (captadores solares, sistemas de almacenamiento, controladores, bombas,...) y esquemas de acoplamiento de sub-sistemas

Desarrollo y validación de los modelos matemáticos de los procesos de intercambio de masa y energía e integración de los mismos en una plataforma computacional específica.

Realización de estudios de optimización de instalaciones y procesos a partir de la explotación de plataforma computacional desarrollada.

Integración de los resultados del proyecto en una guía de que facilite a ingenieros y diseñadores el acceso a opciones simplificadas de integración campo solar/proceso.

Diseño de recursos divulgativos para su difusión entre los potenciales usuarios incluyendo aspectos medioambientales y tecnoeconómicos

Resultados durante 2014:

Durante esta anualidad, un vez alcanzados los objetivos de desarrollo y explotación de modelos y de caracterizaciones de demanda previas a las estimaciones técnico-económicas que han servido para contar con las valoraciones detalladas de funcionamiento y viabilidad de instalaciones de captadores solares cilindroparábólicos en distintas industrias, los esfuerzos principales se han dedicado a la transferencia de tecnología. Para lo que se han seleccionado dos ámbitos diferenciados buscando a) establecer lazos con socios industriales y desarrolladores potenciales de proyectos tanto a nivel nacional como a nivel internacional y b) unificar con iniciativas oficiales o industriales de mayor nivel los aspectos del proyecto relacionados con la elaboración de guías de diseño y los recursos divulgativos dirigidos a usuarios finales. En este sentido se han seleccionado dos plataformas y se ha participado activamente en ambas. La primera de ellas es el grupo especializado de media temperatura de la Plataforma Tecnológica Nacional Solar Concentra y la segunda es la Task 49 (Solar Heat Integration in Industrial Processes) del programa Solar Heating and Cooling de la agencia Internacional de la Energía.

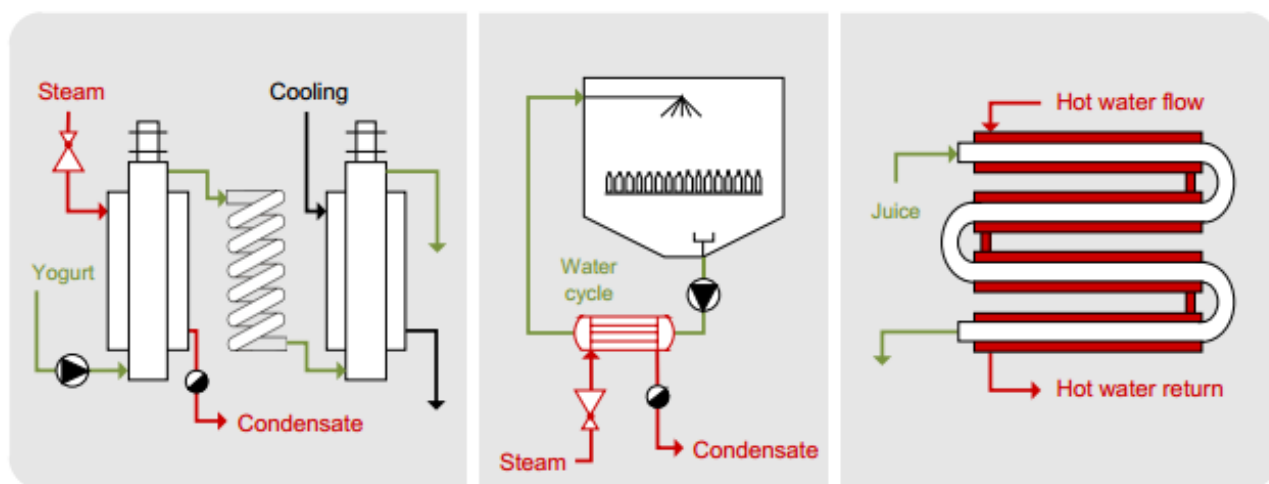


Figura. 2.4.5.1. Representación simplificada para guías de diseño de instalaciones de procesos de pasteurización (Task 49: Integration Guideline Guideline for solar planners, energy consultants and process engineers. Deliverable B 2)

En esta anualidad, el trabajo de vigilancia tecnológica a fabricantes que se ha venido realizando así como el análisis de los potenciales casos de aplicación ha servido para detectar la necesidad de un concentrador solar adaptable y compacto para uso en demandas térmicas de amplio rango, incluyendo baja temperatura, especialmente cuando las mismas presentan con pautas estacionales establecidas, como pudieran ser demandas altas temperaturas para demandas frigoríficas en máquinas de doble efecto en verano y demandas de ACS en invierno como ocurre, p.e. en los hoteles. Se ha ideado un concepto y configuración, que se se ha sometido a solicitud de protección mediante patente en el marco de este proyecto.

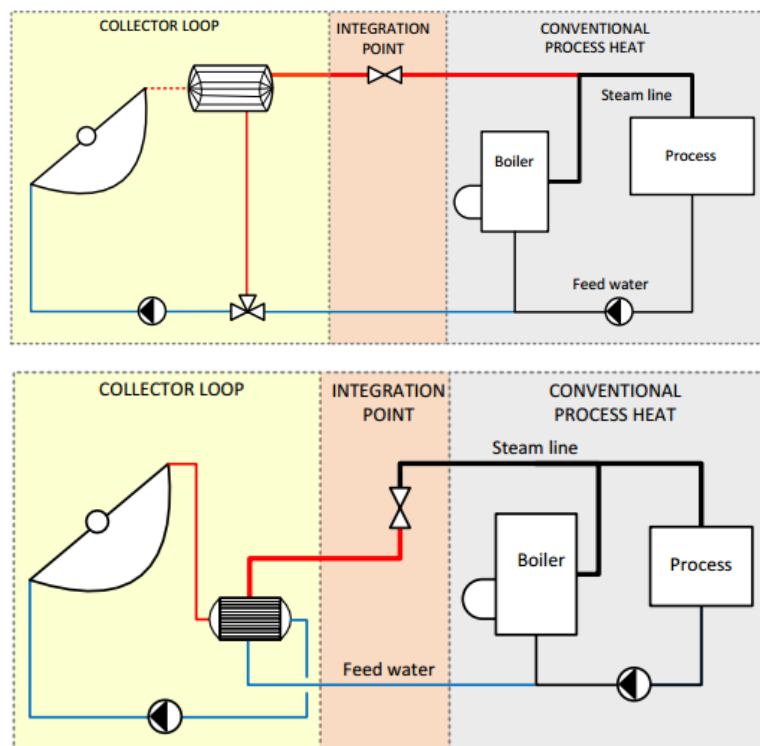


Figura 2.4.5.2. Propuesta a usuarios de lay-out de instalaciones de generación directa de vapor para aplicaciones industriales a partir de captadores cilindroparabólicos (Task 49: Integration Guideline Guideline for solar planners, energy consultants and process engineers. Deliverable B 2)

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 100 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:Revistas:

- Fernández-García, A., M.E. Rojas, M. Pérez, R. Silva, Q. Hernández-Escobedo, F. Manzano. **A parabolic-trough collector for cleaner industrial process heat**. Journal of Cleaner Production, 89, 272-285, 2015. DOI:10.1016/j.jclepro.2014.11.018
- Pérez, M., V. Fernández, F. Cabrera, A. Mimet, H. Boushaba. **Alternativa solar térmica: Refrigeración de alimentos y medicinas en entornos aislados**. Era Solar, 180, 14-23, 2014.
- Silva, R., Cabrera F.J., Pérez-García M. **Process Heat Generation with Parabolic Trough Collectors for a Vegetables Preservation Industry in Southern Spain**. Energy Procedia 2014, 48, 1210-1216. DOI: 10.1016/j.egypro.2014.02.137
- Silva, R., M. Pérez, M. Berenguel, L. Valenzuela, E. Zarza. **Uncertainty and Global Sensitivity Analysis in the Design of Parabolic-Trough Direct Steam Generation Plants for Process Heat Applications**. Applied Energy, 121, 233-244, 2014. Impact factor 5.261, 7/82 Q1 (Energy and Fuels), 6/133 Q1 (Engineering, Chemical).
- Silva, R., M. Berenguel, M. Pérez, A. Fernández-García. **Thermo-economic design optimization of parabolic trough solar plants for industrial process heat applications with memetic algorithms**. Applied Energy 113, 603-614, 2014. Impact factor 5.261, 7/82 Q1 (Energy and Fuels), 6/133 Q1 (Engineering, Chemical).

Congresos:

- Rodríguez-Gil D., Silva R., Cabrera F.J., Pérez-García M. **Design of a high solar fraction parabolic trough solar plant for an industrial laundry in Southern Spain**. 11 International Conference on Solar Heating and Cooling. Gleisdorf (Austria). Junio 2014.
- Cabrera, F.J., Pérez-García, M. Silva, R. **Availability and variability of solar radiation data for modeling of solar thermal installations in Andalusia (Spain)**. EuroSun 2014 - International Conference on Solar Energy and Buildings. Aix les Bains (Francia) Septiembre 2014.
- Pérez-García M., Cabrera F.J., Silva, R. **Solar heat for agro-industrial processes: an analysis of potential use for Southern Spain**. EuroSun 2014 - International Conference on Solar Energy and Buildings. Aix les Bains (Francia) Septiembre 2014.

Tesis Doctorales:

Contribución al modelado termo-hidráulico de captadores solares cilíndricoparabólicos para la generación directa de vapor

Doctorando: David Hernández Lobón

Directores: Loreto Valenzuela/Manuel Pérez

Fecha de lectura: 24/04/2014

Calificación: Sobresaliente "Cum Laude"

Mención internacional: MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY

Modeling and optimization of parabolic trough solar plants for industrial applications

Doctorando: Ricardo Manuel Parreira da Silva

Directores: Manuel Pérez/Manuel Berenguel

Fecha de lectura: 15/07/2014

Calificación: Sobresaliente "Cum Laude"

Patentes:Concentrador Solar Multimodo

Inventores (p.o. de firma): Ricardo Silva, Aranzazu Fernández, Manuel Pérez, Manuel Berenguel, Loreto Valenzuela, Eduardo Zarza

N. de solicitud: P201400974

País de prioridad: España

Fecha de solicitud: 18/11/2014

Entidad titular: Universidad de Almería/Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas.

Trabajos Fin de Grado:Diseño de una planta solar de colectores cilíndricoparabólicos para una lavandería industrial en Vícar (Almería)

Estudiante: Diego Rodríguez Gil

Titulación: Grado en Ingeniería Mecánica (Universidad de Almería)

Directores: Manuel Pérez/Ricardo Silva

Fecha de defensa: 23/09/2014

Análisis técnico-económico de un sistema de refrigeración solar por adsorción

Estudiante: Vicente Fernández Díaz

Titulación: Ingeniería Industrial (Universidad de Málaga)

Directores: José Manuel Cejudo (UMA)/Manuel Pérez

Fecha de defensa: 10/12/2014

Diseño de una cámara frigorífica adaptada a la conservación de producción hortofrutícola de tipo ecológico

Estudiante: Cristina Fernández Camacho

Titulación: Grado en Ingeniería Mecánica (Universidad de Almería)

Directores: Manuel Pérez/Francisco J. Cabrera

Fecha de defensa: 25/09/2014

2.4.6 Modelado, simulación, control y optimización de fotobioreactores-MACROBIO**Participantes:**

Grupo de Inv. "Automática, Robótica y Mecatrónica". Universidad de Almería (TEP 197)
Grupo de Inv. "Biotecnología de Algas Marinas". Universidad de Almería (BIO-173)
Grupo de Informática y Automática de la UNED

Contactos:

J.L. Guzmán (joseluis.guzman@ual.es)
F.G. Acien (facien@ual.es)
José Sánchez (jsanchez@dia.uned.es)

Fuente de financiación:

Ministerio de Economía y Competitividad. Plan Nacional 2010. (DPI2011-27818-C02)

Duración prevista:

Enero 2011 – Diciembre 2014.

Situación:

Finalizado

Resumen

El proyecto aborda el análisis, estudio y aplicaciones de las estrategias de modelado, control y optimización en el marco del control predictivo basado en modelos (MPC) y el control basado en eventos (EBC) para lograr una producción eficiente de biomasa de microalgas en fotobiorreactores a gran escala. Este problema de control está compuesto por diferentes niveles ya que dependiendo del uso final de la biomasa diferentes objetivos de control tendrán que cumplirse durante el proceso de producción. Por lo tanto, la existencia de diferentes objetivos (productividad, objetivos económicos, aspectos ambientales y de calidad, etc.) generan un problema de control jerárquico multi-escala que se abordará mediante el uso de diferentes técnicas de control MPC incluyendo multi-escala no lineal y el muestreo basado en eventos. Asimismo, será necesario el desarrollo de modelos, estimadores y predictores de las variables de concentración de biomasa, las variables ambientales y del resto de las variables de proceso asociadas. En la actualidad, hay muy pocas aplicaciones a escala industrial de los procesos tratados en este proyecto, siendo por lo tanto de gran interés.

Objetivos:

- Desarrollo y propuesta de estrategias de modelado e identificación para procesos basados en la producción de biomasa de microalgas. Se obtendrán modelos detallados y complejos para los requisitos de los niveles superiores y modelos simplificados para los diseños de control.
- Desarrollo de estrategias de control predictivo y metodologías basadas en eventos para la producción óptima de biomasa en fotobiorreactores de gran tamaño mediante una adecuada reducción de costes y de la contaminación medioambiental.
- Implementación y validación de las estrategias desarrolladas en diferentes plantas experimentales con clara relevancia industrial. Para este objetivo se utilizarán distintos tipos de fotobiorreactores.

Resultados durante 2014

Las principales actividades llevadas a cabo durante 2014 han sido:

- Desarrollo de metodologías para la obtención de modelos simplificados con fines de control de sistemas de producción de biomasa con microalgas.

- Desarrollo de modelos de predicción de variables ambientales para su uso en el proceso de optimización de la producción de biomasa.
- Desarrollo de estrategias de control de bajo nivel para el problema de control de producción de biomasa. Se desarrollarán estrategias de control lineales y no lineales para las variables de dinámica rápida tales como pH, presión, etc.
- Formulación de los problemas de optimización para los objetivos de alto nivel en el problema de control de producción de biomasa. Se abordarán funciones de coste en el marco de estrategias de control predictivo.
- Desarrollo de estrategias de control predictivo robusto y control no lineal para el problema de control de producción de biomasa, combinando especificaciones de bajo y alto nivel. Se hará uso de estrategias de control jerárquicas multi-escala.
- Implementación y validación de las diferentes estrategias de control en los fotobiorreactores industriales.

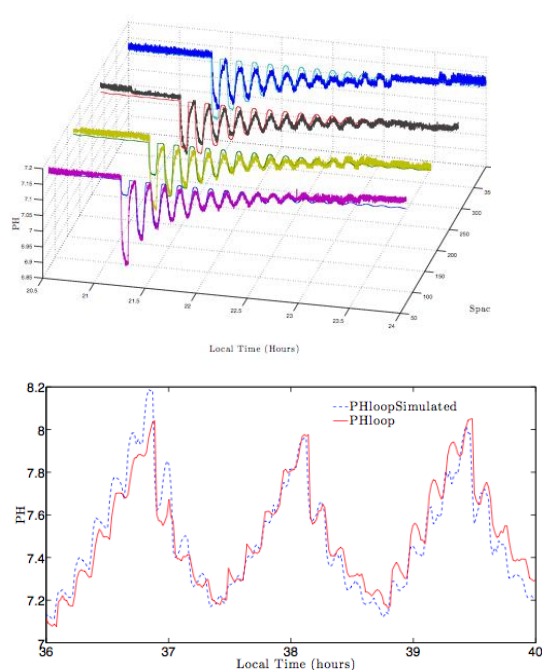
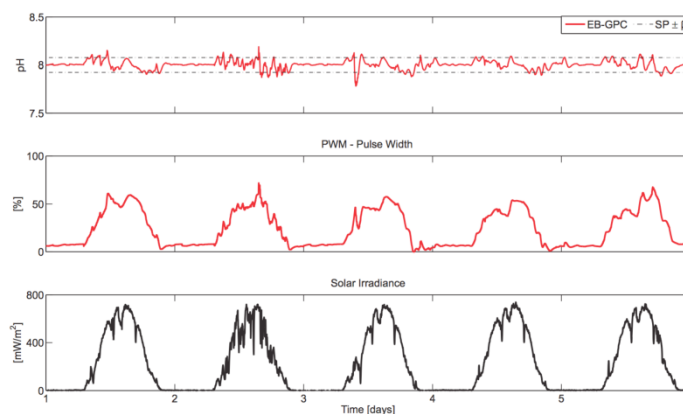


Figura 2.4.6.1. Ejemplo representativo sobre los resultados del modelo realizado basado en primeros principios



		Day				
		1	2	3	4	5
EB-GPC	IAE	1725	1555	1666	1341	1579
	SLT[min]	767	767	767	767	767
	Event	214	280	269	228	258
	IT[min]	319.6	291.1	296.4	284.3	307.8
	CO ₂ [g/day]	1177	1072	1091	1047	1134
	Lost CO ₂ [g/day]	235	216	213	208	227
	RO ₂ [kg _[O₂]]/m³day]	0.8464	0.9953	0.9317	0.7526	0.7459
	P _b [kg _[b]]/m³day]	0.6196	0.7445	0.6783	0.5532	0.5378

Figura 2.4.6.2. Resultados experimentales de control basado en eventos. Productividad equivalente a control basado en tiempo con ahorros de pérdidas de CO₂ del 30%

Abstract:

The project deals with the analysis, study and applications of modelling, control and optimization strategies in the framework of model-based predictive control (MPC) and event-based control (EBC) to achieve efficient microalgae biomass production in large-scale photobiorreactors. This control problem is composed of different control levels because depending of the final use of the resulting biomass different control objectives will have to be fulfilled during the production process. Therefore the existence of different objectives (productivity, economic issues, environmental and quality aspects, etc.) generate a

hierarchical multi-scale control problem that will be addressed using different control techniques including non-linear multi-scale MPC and event-based sampling and control approaches. Also, it will be necessary to develop models, estimators and predictors of the biomass concentration variables, the environmental variables and the rest of associated process variables. At present, there are very few applications at industrial scale of the processes treated in this project, thus being of great interest

Publicaciones

Revistas:

- Fernández, I., Acién, F.G., Berenguel, M., Guzmán, J.L. **First principles model of a tubular photobioreactor for microalgal production.** *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 53, 11121-11136, 2014. Impact factor 2.234, 36/133 Q2 (Engineering, Chemical).
- Fernández, I., Acién, F.G., Berenguel, M., Guzmán, J.L., Andrade, G.A., Pagano, D.J. **A lumped parameter chemical-physical model for tubular photobioreactors.** *Chemical Engineering Science*, 112, 116-129, 2014. Impact factor 2.613, 24/133 Q1 (Engineering, Chemical).
- Pawlowski, A., Mendoza, J.L., Guzmán, J.L., Berenguel, M., Acién, F.G., Dormido, S. **Effective utilization of flue gases in raceway reactor with event-based pH control for microalgae culture.** *Bioresource Technology*, 170, 1-9, 2014. Impact factor 5.039, 9/82 Q1 (Energy & Fuels), 17/165 Q1 (Biotechnology & Applied Microbiology), 1/12 Q1 (Agricultural Engineering).
- Pawlowski, A., Fernández, I., Guzmán, J.L., Berenguel, M., Acién, F.G., Normey-Rico, J.E. **Event-based predictive control of pH in tubular photobioreactors.** *Computers and Chemical Engineering*, 65, 28-39, 2014. Impact factor 2.452, 30/133 Q1 (Engineering, Chemical), 18/102 Q1 (Computer Science, Interdisciplinary Applications).
- Pawlowski, A., Cervin, A., Guzmán, J.L., Berenguel, M. **Generalized predictive control with actuator deadband for event-based approaches.** *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 10(1), 523-537, 2014. Impact factor 8.785, 1/59 Q1 (Automation & Control Systems), 1/102 Q1 (Computer Science, Interdisciplinary Applications), 1/34 Q1 (Engineering, Industrial).
- Rodríguez, C., Guzmán, J.L., Berenguel, M., Hägglund, T. **Optimal feedforward compensators for systems with right-half plane zeros.** *Journal of Process Control*, 24, 368-374, 2014. Impact factor 2.179, 14/59 Q1 (Automation & Control Systems), 38/133 Q2 (Engineering, Chemical).
- Congresos
- Andrade, G.A., Pagano, D.J., Fernández, I., Guzmán, J.L., Berenguel, M. **Boundary Control of an Industrial Tubular Photobioreactor Using Sliding Mode Control.** In 19th IFAC World Congress, 4903-4908. Cape Town, South Africa, 2014.
- Andrade, G., Pagano, D., Guzmán, J.L., Berenguel, M. **Optimización de la producción de biomasa en fotobioreactores tubulares.** XXXV Jornadas de Automática, Valencia, España, 2014.
- Guzmán, J.L., Rivera, D., Berenguel, M., Dormido, S. **ITCLI: An interactive tool for closed loop identification.** In 19th IFAC World Congress, 12249-12254. Cape Town, South Africa, 2014.
- Guzmán, J.L., Hägglund, T., Aström, K.J., Dormido, S., Berenguel, M., Piguet, I. **Understanding PID design through interactive tools.** In 19th IFAC World Congress, 12243-12248. Cape Town, South Africa, 2014.
- Pawlowski, A., Guzmán, J.L., Berenguel, M., Dormido, S. **Event-based predictive control triggered by input and output deadband conditions.** In 19th IFAC World Congress, 8116-8121. Cape Town, South Africa, 2014.
- Pawlowski, A., Guzmán, J.L., Berenguel, M., Dormido, S. **Lagrange interpolation for signal reconstruction in event-based GPC.** In 19th International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation – ETFA2014 - Workshop on Event-Based Systems. Barcelona, Spain, 2014.
- Rodríguez, C., Guzmán, J.L., Berenguel, M., Normey-Rico, J.E. **Optimal feedforward compensators for integrating plants.** In 19th IFAC World Congress. Cape Town, South Africa, 2014.

Capítulos de libros:

- Pawlowski, A., Guzmán, J.L., Berenguel, M., Dormido, S. **Event-based model predictive control**. In: Event-based control and signal processing. Edited by Marek Miskowicz, CRC Press/Taylor & Francis, USA, ISBN: 9781482256550, 2015.

Tesis Doctorales:

Advanced control strategies for efficient disturbance compensation.

Doctorando: Carlos Rodríguez Contreras. International Ph. D. Thesis.

Directores: José Luis Guzmán / Manuel Berenguel

Fecha de lectura: 16/06/2014, Universidad de Almería

Modelling and control strategies for the microalgal production in industrial photobioreactors.

Doctorando: Ignacio Fernández Sedano. International Ph. D. Thesis.

Directores: Manuel Berenguel / José Luis Guzmán

Fecha de lectura: 16/06/2014, Universidad de Almería

Trabajos Fin de Grado:

Modelado y control de fotobioreactores industriales

Estudiante: María Dolores Fernández Berenguel

Titulación: Grado en Ingeniería Electrónica Industrial (Universidad de Almería)

Directores: José Luis Guzmán/Manuel Berenguel

Fecha de defensa: 25/09/2014

2.4.7 Control del crecimiento de cultivos bajo invernadero optimizando criterios de sostenibilidad, económicos y de eficiencia energética (CONTROLCROP)**Participantes:**

Grupo de Inv. "Automática, Robótica y Mecatrónica". Universidad de Almería (TEP 197)
Grupo de Inv. "Sistemas de Información". Universidad de Almería (TIC-194)
Grupo de Inv. "Sistemas de Gestión de bases de datos federadas y almacenes de datos".
Universidad de Granada (TIC-172)
Grupo de Inv. "Análisis de Datos". Universidad de Almería (FQM-244)

Contactos:

F. Rodríguez (frrodrig@ual.es), <http://aer.ual.es/controlcrop/>

Fuente de financiación:

Consejería de Economía, Innovación, Ciencia y Empleo de la Junta de Andalucía (P10-TEP-6174).

Duración prevista:

Marzo 2011 – Marzo 2016.

Situación:

En curso

Resumen

En este proyecto se pretende plantear una estrategia para el control del crecimiento de cultivos bajo invernadero optimizando criterios de sostenibilidad, económicos, de eficiencia energética y de calidad. En concreto, el proyecto se basa en el desarrollo de un sistema de control jerárquico que integre criterios económicos (de forma que se maximice la diferencia entre el beneficio bruto obtenido por la venta del cultivo y los costes de producción), de ahorro de energía, de mejora de la eficiencia en el uso del agua y de aumento de la calidad de los productos hortícolas. De esta forma, el productor o el técnico responsable podrá reconfigurar el funcionamiento de la explotación en base a lo que se desea obtener en cada escenario que imponga el variable mercado agrícola.

Objetivos:

La consecución del objetivo principal de este proyecto requiere abordar tres problemas fundamentales: (1) el desarrollo de un marco de referencia de control con múltiples objetivos de la producción en el agrosistema invernadero dentro de una estructura de control óptimo jerárquico, abordado el problema en su conjunto, analizando las interacciones entre estimación y los niveles de control jerárquico para obtener referencias de temperatura, concentración de CO₂ y cantidad y calidad de agua; (2) el desarrollo de estrategias de control de nuevas variables climáticas como la concentración de CO₂, combinado con la regulación de la temperatura usando fuentes renovables de energía, como un grado de libertad más para el control del crecimiento del cultivo; y (3) el desarrollo de estrategias de control de riego y nutrientes de forma que se realice un uso eficiente del agua y se disminuyan la deposición de sales contaminantes.

Para estos esquemas de control se analizará la estabilidad, robustez y convergencia cuando se considera el sistema en su conjunto y cuando el sistema se encuentra sometido a errores de modelado y perturbaciones en cualquiera de los niveles de la jerarquía de control.

Resultados durante 2014

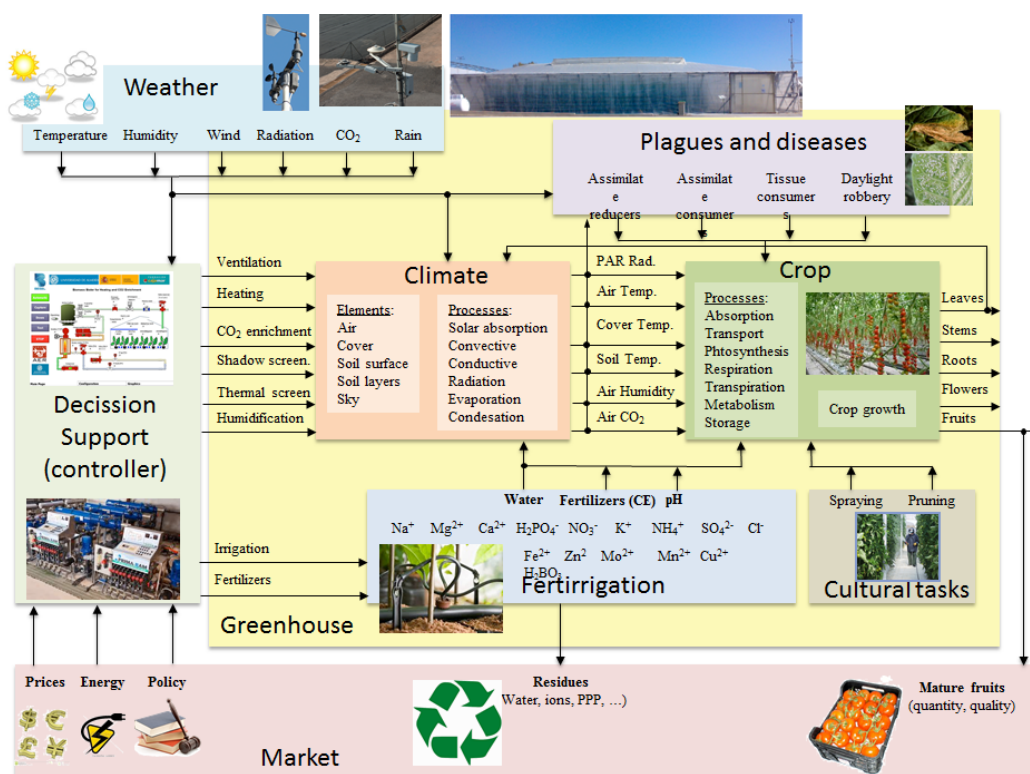


Figura 2.4.7.1. Arquitectura de control jerárquico

Durante esta anualidad se ha trabajado en las siguientes tareas. Se incluyen posteriormente publicaciones que resumen los desarrollos.

Tarea 1.2. Adaptación de la arquitectura jerárquica al problema multiobjetivo.

Tarea 1.3. Diseño e implementación de un sistema de predicción meteorológica automático.

Tarea 1.4. Diseño e implementación de un sistema de supervisión experto.

Tarea 2.1. Diseño, instalación e integración de nuevos sistemas de actuación climática.

Tarea 2.2. Desarrollo de modelos de temperatura, concentración de CO₂ y déficit de presión de vapor del aire interior del invernadero.

Tarea 2.3. Desarrollo de un sistema de control multivariable de temperatura, humedad y concentración de CO₂ en periodos diurnos.

Tarea 3.2. Desarrollo de un modelo dinámico de balance hídrico acoplado a modelos de crecimiento de cultivo.

Tarea 3.3. Desarrollo de un sistema de control de aporte de agua y nutrientes y validación de técnicas de riego basadas en modelos asociados a la demanda del cultivo.

Tarea 4.1. Evaluación de cada uno de los módulos de la arquitectura jerárquica.

Tarea 4.2. Evaluación de la integración del sistema.

Tarea 5. Uso de robots para tareas en invernadero.

Abstract:

The objective of this project is to devise a strategy for controlling the growth of greenhouse crops optimizing sustainability, economic, energy efficiency and quality criteria. The project is based on the development of a hierarchical control system that integrates economic criteria (the difference between the gross income from the sale of the crop and production costs is maximized), energy saving, water use efficiency and horticultural product quality improvement. Thus, the producer of the responsible technician can reconfigure the operation of the farm based on what is desired in each scenario imposed by the variable agricultural market.

PublicacionesRevistas:

- González, R., Rodríguez, F., Guzmán, J.L., Berenguel, M. **Robust constrained economic receding horizon control applied to the two time-scale dynamics problem of a greenhouse.** *Optimal Control Applications and Methods*, 35, 435-453, 2014.
- Sánchez-Molina, J.A., Reinoso, J.V., Acién, F.G., Rodríguez, F., Guzmán, J.L. **Development of a biomass-based system for nocturnal temperature and diurnal CO₂ concentration control in greenhouses.** *Biomass & Bioenergy*, 67, 60-71, 2014.
- Sánchez-Molina, J.A., Rodríguez, F., Guzmán, J.L., Ramírez-Arias, A. **Water content virtual sensor for tomatoes in coconut coir substrate for irrigation control design.** *Agricultural Water Management*, 151, 114-125, 2015. Doi:10.1016/j.agwat.2014.09.013

Libros:

- F. Rodríguez, Berenguel, M., Guzmán, J.L., Ramírez-Arias, A. **Modeling and Control of Greenhouse Crop Growth.** Springer, 2014, ISBN: 978-3-319-11133-9, Electronic ISBN: 978-3-319-11134-6.

Congresos:

- Beschi, M., Pawlowski, A., Guzmán, J.L., Berenguel, M., Visioli, A. **Symmetric send-on-delta PI control of a greenhouse system.** In 19th IFAC World Congress, 4411-4416. Cape Town, South Africa, 2014.
- Donaire, J.G., González, E., González, R., Moreno, J.C., Rodríguez, F. **Development of a stereovision-based navigation strategy for mobile robots working in greenhouses,** Ageng (International Conference on Agricultural Engineering), 2014, Zurich, Switzerland.
- Montoya, A.P., Rodríguez, F., Guzmán, J.L., Sánchez-Molina, J.A. Control de temperatura en invernadero utilizando ventilación natural: Compensación de perturbaciones por medio de control por adelanto. I Symposium Nacional de Ingeniería Hortícola, Orihuela, Alicante, 2014.
- Rodríguez-Haro, J.A., Moreno, J.C., Guzmán, J.L., Aguilar, F., Cantón, M.Y. **Diseño y construcción de una plataforma aérea para la captación de información topográfica.** XXXV Jornadas de Automática, Valencia, Spain, 2014.
- Rodríguez-Gracia, D., Moreno, J.C., Rodríguez, F., González, R., Donaire, J.G. **Comparación de algoritmos de visión para la generación de trayectorias de robots móviles en el interior de invernaderos;** I Symposium Nacional de Ingeniería Hortícola, 20-22 Febrero 2014, Orihuela, Spain.
- Sánchez-Molina, J.A., Martínez, D., Rodríguez, F., Guzmán, J.L., Ramírez-Arias, A. **Sensores virtuales del contenido de humedad del sustrato para su uso en controladores de riego: Aplicación a la fibra de coco.** I Symposium Nacional de Ingeniería Hortícola, Orihuela, Alicante, 2014.

Trabajos Fin de Grado:

Modelado y control multivariable de temperatura y humedad en un invernadero

Estudiante: Cristina Sánchez Pérez

Titulación: Grado en Ingeniería Electrónica Industrial (Universidad de Almería)

Directores: Francisco José Luis Guzmán/Jorge Sánchez-Molina

Fecha de defensa: 25/09/2014

2.4.8 Biogreen: Modelo avanzado de producción en invernaderos**Participantes:**

UAL
PRIMARAM
IFAPA

FUNDACIÓN CAJAMAR
CIAT
GOGARSA

Contactos:

M. Berenguel (lidia.roca@psa.es)

Fuente de financiación:

Corporación Tecnológica de Andalucía, PRIMARAM

Duración prevista:

Enero 2014 – Junio 2015

Situación:

En curso

Resumen

Se trata de un proyecto que desarrolla la tecnología necesaria para establecer un nuevo sistema de producción de hortalizas en invernadero para clima árido y semiárido seguro, fiable y altamente eficiente en el uso de los recursos naturales, gestionando el microclima del invernadero mediante suministro térmico, de calor y frío, preferiblemente a partir de fuentes renovables, para mejorar el potencial productivo y manteniendo de forma continua elevadas concentraciones de CO₂. Trabajar en condiciones de invernadero semicerrado permite reducir la entrada de plagas y mantener niveles elevados de CO₂ mediante enriquecimiento carbónico. Sin embargo, dada la menor renovación del aire se precisa de equipos que mantengan los niveles de temperatura y humedad del aire en condiciones adecuadas para los cultivos, para lo que se puede recurrir a intercambiadores de calor. En invernaderos cerrados, desde el punto de vista de las demandas en refrigeración, los requerimientos energéticos son tan elevados que la actividad productiva en los meses cálidos no es abordable. Esta circunstancia, al igual que en el caso de las demandas en calefacción, puede ser evitada o minimizada a través del concepto de invernadero semicerrado que se propone en este proyecto en base a las capacidades de reducción y control de cargas que se incorporan al mismo. Si bien existen experiencia en la utilización de métodos de refrigeración en invernaderos como la ventilación, tanto natural como mecánica, la utilización de pantallas de sombreado móviles, la refrigeración evaporativa, es constatable que la capacidad de extracción de calor de los mismos no es equiparable a la que ofrecen los ciclos convencionales de fluido frigorígeno mediante intercambiadores de energía.

Objetivos

El objetivo general del proyecto BIOGREEN es desarrollar la tecnología necesaria para establecer un nuevo e innovador sistema de producción de hortalizas en invernadero para clima árido y semiárido seguro, fiable y altamente eficiente en el uso de los recursos naturales (con energía obtenida a partir de fuentes renovables, suelo, agua, CO₂, etc.). Que sea capaz de funcionar en régimen abierto (con máxima eficiencia en la ventilación natural), y adaptable para su funcionamiento en régimen semicerrado (gestionando el microclima del invernadero mediante suministro térmico, de calor y frío, preferiblemente a partir de fuentes renovables) para mejorar el potencial productivo y manteniendo de forma continua elevadas concentraciones de CO₂ (2 niveles de inversión).

BIOGREEN
“Modelo Avanzado de Producción en Invernaderos”

Consorcio:



Organismos públicos de investigación:

Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera
CONSEJERÍA DE AGRICULTURA, PESCA Y DESARROLLO RURAL



Financiado por:



Agencia de Innovación y Desarrollo de Andalucía IDEA
CONSEJERÍA DE ECONOMÍA, INNOVACIÓN, CIENCIA Y EMPLEO



Unión Europea

Fondo Europeo
de Desarrollo Regional



Figura. 2.4.10.1. Entidades participantes en el proyecto BIOGREEN

Resultados durante 2014:

Sujetos a confidencialidad.

Abstract:

This is a project that develops the technology required to establish a new system of production of greenhouse vegetables in arid climate and semiarid climate, through reliable and highly efficient use of natural resources, managing the microclimate by heat and cold supply, preferably from renewable sources to improve the productive potential and keeping continuously high CO₂ concentrations. Semi-closed greenhouses reduce pest damage while maintain high levels of CO₂ by carbon enrichment. However, given the lower air exchange, equipment is required to maintain the levels of temperature and humidity conditions suitable for crops, for which heat exchangers have to be used. In closed greenhouses, the demands on cooling energy requirements are so high that productive activity in the warmer months is not affordable. This circumstance, as in the case of heating demands, can be avoided or minimized through semi-closed greenhouse concept proposed in this project based on the capabilities of reduction and control of loads. While there are experiences in using cooling methods such as ventilation in greenhouses, both natural and mechanical, mobile screens shading and evaporative cooling, it is evident that the heat extraction capacity thereof is not comparable to that offered by conventional refrigerant cycles through heat exchangers.

2.4.9 Puesta en funcionamiento y evaluación técnica y energética de un novedoso lazo híbrido de generación térmica (solar y biomasa) para climatización de invernaderos semi-cerrados

Participantes:

Grupo de Inv. "Automática, Robótica y Mecatrónica". Universidad de Almería (TEP 197)
Unidad de Fisiología y Tecnología de Cultivos Protegidos. Centro IFAPA "La Mojonera"

Contactos:

M. Pérez (mperez@ual.es)
Esteban Baeza (loreto.valenzuela@psa.es).

Fuente de financiación:

Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera. Junta de Andalucía.

Duración prevista:

Septiembre 2014 – Junio 2015

Situación:

En curso

Resumen:

Esta actividad se trata de un contrato complementario al suscrito en el proyecto BIOGREEN con el Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera de la Junta de Andalucía para diseñar un lazo de generación térmica de origen renovable (solar y biomasa) cuya función es la aportación de energía primaria a los procesos de calefacción y refrigeración del prototipo de invernadero bajo estudio en el proyecto anteriormente mencionado.

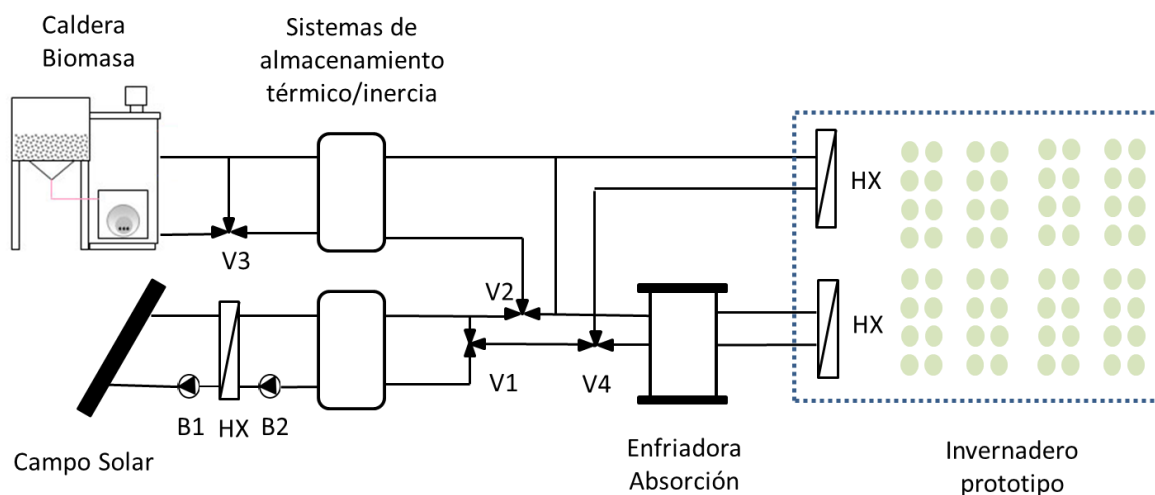
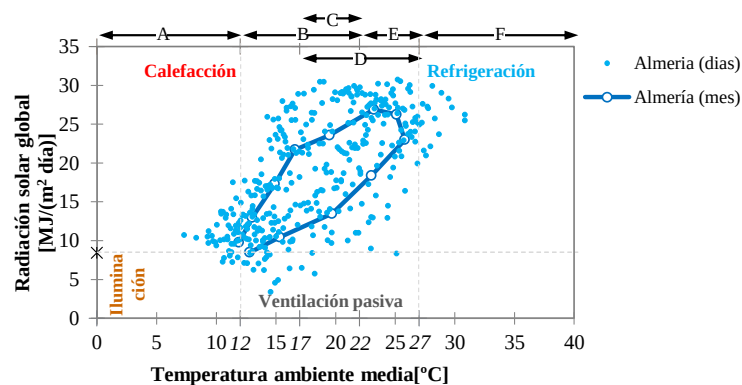


Figura 2.4.8.1. Esquema de principio de lazo de generación térmica para invernadero semi-cerrado



- A. Calefacción necesaria [$<12^{\circ}\text{C}$]
- B. Invernadero sin control activo (necesario ventilación pasiva) [$12-27^{\circ}\text{C}$]
- C. Cultivo al aire libre posible (zonas interiores) [$17-22^{\circ}\text{C}$]
- D. Cultivo al aire libre posible (zonas costeras) [$17-27^{\circ}\text{C}$]
- E. Refrigeración activa [$22-27^{\circ}\text{C}$]
- F. Temperaturas excesivas [$>27^{\circ}\text{C}$]
- x. Radiación solar mínima requerida [$8.5 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \text{ day})$]

Figura 2.4.8.2. Plantilla de toma de decisiones sobre climatización de invernaderos.

Resultados durante 2014:

Sujetos a confidencialidad.

Abstract:

This activity is a supplementary contract to BIOGREEN Project signed with the Institute of Agricultural Research and Training and Fisheries of the Junta de Andalucía. It aims to design a thermal loop for generating renewable heat (solar and biomass) whose function is the provision of primary energy for heating and cooling the prototype greenhouse under study in the aforementioned project.

2.4.10 Transferencia y Actividades Complementarias

Convenio con la Universidad de Brescia y participación en proyecto Sfera 2.

El convenio incluye co-tutela de Tesis, intercambio de alumnos Erasmus, doble título en Mecatrónica para la automatización industrial, etc. Fruto del convenio el Prof. Manuel Berenguel ha co-dirigido, junto al Prof. Antonio Visioli, la tesis de Manuel Beschi. El grupo de la Universidad de Brescia realizó una estancia (Domenico Gorni y Antonio Visioli) en el ámbito del proyecto Sfera 2, dedicada al modelado simplificado de habitaciones en edificios.

Convenio UAL-CIEMAT

Participantes:

- Grupo de Inv. "Automática, Robótica y Mecatrónica" de la Universidad de Almería
- Grupo de Automática de la Plataforma Solar de Almería.

Contactos:

- Manuel Berenguel (beren@ual.es)
- Lidia Roca (lidia.roca@psa.es)

Antecedentes:

El grupo de investigación "Automática, Robótica y Mecatrónica" de la Universidad de Almería junto con CIEMAT han colaborado en la línea de investigación de I+D de Automática en plantas termosolares en el marco de diversos proyectos nacionales: Proyecto Nacional - DPI2004-07444-C04-, Proyecto Nacional - DPI2007-66718-C04-04, Proyecto Nacional - 04DPI2010-21589-C05-02.

Objetivos:

Contribuir al desarrollo y aplicación de actividades relacionadas con la investigación de modelado y control de procesos termosolares, empleando para ello las instalaciones de La Plataforma Solar de Almería. Como objetivos específicos se han propuesto:

- Estudio de los procesos y subsistemas involucrados en plantas solares híbridas de la Plataforma Solar de Almería.
- Desarrollo de modelos dinámicos de plantas solares híbridas y validación de los resultados obtenidos.
- Desarrollo de estrategias de control para plantas solares híbridas.

Colaboración con la Unidad de Eficiencia Energética en la Edificación UIE3 del CIEMAT

Participantes:

- Grupo de Inv. "Automática, Robótica y Mecatrónica" de la Universidad de Almería
- Unidad de Eficiencia Energética en la Edificación UIE3 (CIEMAT)

Contactos:

- Francisco Rodríguez Díaz (frodri@ual.es)
- María José Jiménez (mjose.jimenez@psa.es)

Antecedentes:

La colaboración establecida a partir del proyecto ARFRISOL, ya concluido, ha abierto nuevas opciones de desarrollo de actividades conjuntas de interés común en el ámbito de la caracterización dinámica de las propiedades térmicas de materiales y elementos.

Objetivos:

- Apoyo y colaboración en la organización actividades de formación especializada.
- Realización de tesis doctorales. En la actualidad está en marcha el trabajo titulado “Análisis y evaluación energética de edificios a partir de datos experimentales medidos en condiciones reales de uso y utilizando métodos de análisis de series temporales”, que cuenta con una beca FPI. Febrero 2011 a Enero 2015.
- Colaboraciones en la preparación de propuestas en el marco del Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación y en los diferentes subprogramas específicos del H2020.

Solicitud de proyectos europeos

Durante la anualidad 2014 se han solicitado los siguientes proyectos:

- Transportable system for harvesting, sorting, and packaging horticulture products in greenhouses, presentada en el call SFS-17-2014: Innovative solutions for sustainable novel food processing. El objetivo principal de la propuesta sería el diseño e implementación de un prototipo demostrador de un sistema automatizado escalable y modular que realice las tareas de postrecolección consistentes en transporte, clasificación, empaquetado, paletizado y trazabilidad de productos hortícolas en la propia explotación agraria. La tarea asignada al grupo de la Universidad de Almería está relacionada con la navegación de vehículos autónomos en invernaderos, coincidiendo la tarea 5 de este proyecto. El consorcio está formado por los siguientes socios: Università di Cassino e del Lazio Meridionale (Italy), Universidad de Almería (Spain), Fundación Cajamar (Spain), RWTH Aachen University (Germany), Transilvania University of Brasov (Romania).
- Building integrated, energy efficient and Highly Optimized Multiple Energy STOrage systems for increased use of REnewables and advanced grid interaction through smart heat pumps and control, presentada en el H2020-LCE-2014-3 COMPETITIVE LOW-CARBON ENERGY. El objetivo de este proyecto es el desarrollo de un sistema energético integrado que permita aumentar la rentabilidad a través de una fuerte interacción con sistemas de almacenamiento de energía térmica, las redes eléctricas y energías renovables. Más concretamente, para el final de 2020 se pretende tener tres soluciones distintas, demostradas y preparadas, para su introducción en el mercado por parte de los socios de la industria. Esas soluciones permitirán alcanzar un uso de energía procedente de fuentes renovables superior al 30% y un ahorro del 10% en el consumo de energía en comparación con los sistemas de construcción de referencia en el marco europeo. Dichas soluciones se evaluarán en demostradores dentro del contexto europeo: edificios y recintos cerrados reales, experimentales, redes reales, y redes experimentales. La tarea asignada al grupo de la Universidad de Almería está relacionada con la predicción meteorológica, coincidiendo la tarea 1.4 de este proyecto. El consorcio está formado por los siguientes socios:

Czech Technical University in Prague (CVUT, República Checa), Universidad de Kaiserslautern (UNIKL, Alemania), Universidad de Leuven (KU Leuven, Bélgica), Universidad de Innsbruck (UIBK, Austria), Instituto de Tecnología Nuremberg (THN, Alemania), Energocentrum Plus (ENC, República Checa), Federación Europea de Asociaciones HVAC (REHVA, Holanda), Huygen Installatie Adviseurs (HIA, Holanda), Regulus spol. s. r. o. (REG, República Checa), Universidad de Liège (ULG, Bélgica), Universidad de Almería (España), Heliotherm Wärmepumpentechnik GmbH (HEL, Austria), Studiebureau Boydens Raymond (NV BOY, Bélgica), Instituto de Innovación y Desarrollo de la Universidad de Ljubjana (IRI UL, Eslovenia), COVERS SPRL (COV, Bélgica).

- SOLYERO: New highly energy performing house with concentrating solar collector and year-round high-temperature storage system (Horizon 2020, Call: H2020-EE-2015-1-PPP, Topic: EE-02-2015, Type of action: IA) en coordinación con la unidad de Frío Solar y con la participación de la Unidad de Concentración Solar de la Plataforma Solar de Almería, la Universidad de Wroclaw (PO=, la Universidad Técnica de Ostrava (CZ) y la empresa Synergia (PO)

Tutorización de prácticas en empresa durante 2014.

- *José Manuel Rodríguez.* 1. Participación en análisis de consumos energéticos del edificio CIESOL. 2- Participación en diseño de un sistema de confort lumínico del edificio CIESOL optimizando la utilización de energías renovables y reduciendo el consumo eléctrico 3. Participación en implantación y validación del sistema desarrollado.
- *Juan Horacio Mañas.* 1. Instalación de tarjetas de adquisición de datos en armario instalación de desalación solar en la UAL. 2. Calibración de instrumentación. 3. Desarrollo de un sistema SCADA de la instalación. 4. Desarrollo de modelos y controladores básicos.
- *Adrian Kurucz.* 1. Estudio de viabilidad de la utilización de sistemas V2G (vehicle to grid) en el entorno del centro de investigación CIESOL. 2. Desarrollo de un modelo de los elementos eléctricos de un vehículo eléctrico para el diseño de sistemas de gestión eficiente de la energía.
- *José Atienza.* 1. Participación en puesta en marcha de laboratorio de electrónica y control (incluyendo estación informatizada de instrumentación básica, analizador lógico). 2. Participación en instalación y diseño de tarjetas de control de motores de actuadores de plantas solares con los entornos Altium Designer y PK51 Developers Kit. 3. Participación en puesta en funcionamiento de los Kit PC 104 de desarrollo de sistemas empotrados acrílicos con Windows XP Embedded para aplicaciones en plantas termosolares.
- *María Dolores Fernández.* 1. Ayuda en la instrumentación de un fotobioreactor tipo raceway. 2. Planificación y realización de ensayos experimentales. 3. Diseño de un sistema supervisor SCADA de la instalación. 4. Desarrollo de modelos y controladores básicos.

- *Jerónimo Ramos.* 1. Análisis de consumos energéticos de vehículos eléctricos 2. Diseño de un sistema de control del movimiento de un vehículo eléctrico que optimice el consumo de energía 3. Implantación y validación del sistema desarrollado.
- *Diego Rodríguez Gil.* 1. Estudio de consumos térmicos en procesos diversos en una lavandería industrial 2. Diseño de un campo de captadores cilindroparabólicos para la alimentación de dichos procesos.

Actividades adicionales en el laboratorio de Automática e Informática Industrial

- Diseño de controladores empotrados mediante herramientas de modelado orientadas a bloques_ modelado, (co)simulación y HIL.
- Diseño y simulación de circuitos electrónicos de potencia (CAD y Spice).
- Modelado orientado a objetos de sistemas dinámicos: Comparación de herramientas de modelado de propósito específico (DesignBuilder) respecto a Modelica (Dymola y SystemModeler). Trabajo realizado con alumno del Master en Energía Solar del CIESOL. Prototipo utilizado: pequeña construcción ideal con orientación sur (ventana) situada en Granada.

2.5 ACTIVIDADES EN EVALUACIÓN DEL FRIO SOLAR

La Unidad de Recurso Solar está compuesta por los miembros del grupo “Recursos Energético Solares y Climatología (TEP165)”. El grupo TEP 165 es un grupo estable desde su creación en el año 1997 en el seno del Plan Andaluz de Investigación de la Junta de Andalucía, siendo su responsable desde su fundación Francisco Javier Batlles Garrido. Nuestro grupo ha sido considerado en numerosas ocasiones como Grupo de Excelencia dentro del Plan Andaluz de Investigación. Está formado por profesores y doctores del área de Física Aplicada, del área de Máquinas y Motores Térmicos y del área de Lenguajes y Sistemas Informáticos y tres becarios de investigación también doctores.

2.5.1 Líneas estratégicas del grupo.

Las principales líneas estratégicas del grupo son las siguientes:

- Evaluación y predicción del recurso solar.
- Teledetección.
- Cámaras de cielo.
- Optimización de cámaras de cielos
- Diseño y optimización de plantas de refrigeración y calefacción solar.
- Diseño y optimización de sistemas de refrigeración y calefacción utilizando agua de subsuelo e intercambiadores geotérmicos.
- Diseño y optimización de plantas de trigeneración.
- Integración de los sistemas térmicos y fotovoltaicos a la construcción, naves, almacenes e invernaderos

Main research lines:

- *Modeling and control of thermosolar plants.*
- *Evaluation and forecast of solar resource.*
- *Teledetection.*
- *Sky camera.*
- *Optimization of the sky cameras*
- *Design and optimization of solar thermal cooling and heating systems.*
- *Design and optimization of air-conditioning system coupled with shallow geothermal systems and ground-coupled heat exchanger.*
- *Design and optimization of trigeneration systems.*
- *Integration of the solar thermal and photovoltaic energy in the construction, warehouses or greenhouses*

2.5.2 Investigadores principales del grupo

Francisco Javier Batlles Garrido (Scopus Author 6602731047)

Profesor Titular de Universidad y acreditado al Cuerpo de Catedráticos de Universidad por el Departamento de Química y Física de la Universidad de Almería. Licenciado en Ciencias Físicas por la Universidad de Granada (1986) y Doctor en Ciencias Físicas por la Universidad de Granada. Director desde su fundación en 1998 del Grupo de Investigación "Recursos Energético Solares y Climatología" del Plan Andaluz de Investigación. Miembro de la Comisión de Evaluación Científica y Tecnológica de

Andalucía, perteneciente al Plan Andaluz de Investigación, del 2002 al 2005. Ha desarrollado su labor científica siempre en el seno del Grupo de Investigación en temas relacionados con la evaluación y predicción del recurso solar y modelado y diseño de instalaciones solares para calefacción y refrigeración de edificios. Ha dirigido 10 contratos de investigación con diferentes instituciones públicas y privadas, entre las que cabe destacar, GEMASOLAR 2006, S.L., Torresol Energy O & M, S.A, Millenio Solar Desarrollo de Proyectos, Agencia Aeroespacial Alemana. Coautor de más de 60 artículos en revistas internacionales con impacto, más de 150 publicaciones en congresos tanto nacionales como internacionales así como un libro nacional. Ha dirigido 8 tesis doctorales.

Francisco Javier Batlles Garrido (Scopus Author 660273104)

He received his physics degree and the Ph.D. from the University of Granada, Spain, in 1986 and 1995, respectively. He is a Professor in the Department of Chemistry and Physics at the University of Almería, Almería, Spain. He is the head of the research group Solar Resource Assesment and Climatology at the University of Almería. His research interests include evaluation and forecast of the solar resource, design and optimization of the solar thermal cooling and heating systems. He has authored and coauthored over 60 articles in international journals, about 150 conference papers, both national and international and 7 doctoral theses directed. Prof. Batlles has been the Principal Researcher of 10 research projects funded by the Ministry of Science and Innovation and contracts with different companies such as GEMASOLAR 2006, S.L., Torresol Energy O & M, S.A, Solar Millennium, German Aerospace Centre

2.5.3 Miembros del grupo

Francisco Javier Batlles Garrido (UAL)



Sabina Rosiek (UAL)



Joaquín Alonso Montesinos (UAL)



Francisco Javier Barbero Francisco (UAL)



Mercedes Martínez Durbán (UAL)



Juan Luis Bosch Saldaña (UC San Diego)



2.5.4 Predicción a corto plazo de la nubosidad utilizando técnicas de teledetección y de tratamiento de imágenes**Participantes:**

Grupo de Inv. "Recursos Energético Solares y Climatología". Universidad de Almería (TEP-165)
Grupo de Investigación "Física de la Atmósfera". Universidad de Jaén.

Contactos:

F.J. Batlles (fbatlles@ual.es)

Fuente de financiación:

Ministerio de Economía y Competitividad. Plan Nacional 2011. (CGL2011-30377-C02-02).

Duración prevista:

Enero 2012 –Diciembre 2014.

Situación:

Finalizado.

Resumen:

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.

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:Revistas:

- Alonso-Montesinos, J., Batlles, F.J. **Solar forecasting in the short –and medium- term under all sky conditions.** Energy 2015.
- Alonso-Montesinos, J., Batlles, F.J., Bosch, J.L. **Beam, diffuse and global solar irradiance estimation with satellite imagery.** Applied Energy 2015. En revision.
- Alonso-Montesinos, J., Batlles, F.J. The use of a sky camera for solar radiation estimation based on digital image processing. Energy 2015. En revision.
- Alonso, J., Batlles, F.J., Villarroel, C., Ayala, R., Salbidegoitia, I. **Determination of the sun area in sky camera images using radiometric data.** Energy Conversion and Management 78 2014. 24-31.
- Alonso, J., Batlles, F.J., López, G., Ternero, A. Sky camera imagery processing based on a sky classification using radiometric data. Energy 68 2014. 599-608.
- Alonso, J., Batlles, F.J. Short and medium-term time cloudiness forecasting using remote sensing techniques and sky camera imagery. Energy 73 2014. 890-897.
- Alonso, J., Ternero, A., Batlles, F.J., López, G., Rodríguez, J., Burgaleta, J.I. **Prediction of cloudiness in short time periods using techniques of remote sensing and image processing.** Energy Procedia 49 2014. 2280-2289.
- López, G., Batlles, F.J. **Estimating solar radiation from MODIS data.** Energy Procedia 49 2014. 2362-2369.
- Batlles, F.J., Alonso, J., López, G. **Cloud cover forecasting from METEOSAT data.** Energy Procedia 57 2014. 1317-1326.
- López, G., Batlles, F.J., Rossi, F. **Deriving solar radiation in a mountain area from MODIS information.** Energy Procedia 57 2014. 1092-1099.

Tesis Doctorales:

Predicción a corto plazo del recurso solar en todo tipo de condiciones de cielo utilizando imágenes de satélite y cámara de cielo.

Doctorando: Joaquín Blas Alonso Montesinos.

Director: Francisco Javier Batlles Garrido.

Fecha de la defensa: 19 de diciembre de 2014.

Calificación: Sobresaliente "Cum Laude".

Universidad: Almería.

Centro: Escuela Politécnica Superior y Facultad de Ciencias Experimentales.

2.5.5 Optimización para la industrialización de la predicción de nubes en campos solares**Participantes:**

Grupo de Inv. "Recursos Energético Solares y Climatología". Universidad de Almería (TEP-165)
Torresol Energy O&M, S.L.

Contactos:

F.J. Batlles (fbatlles@ual.es).

Fuente de financiación:

Torresol Energy O&M, S.L.

Duración prevista:

Septiembre 2012 - Diciembre 2014

Situación:

Finalizado.

Resumen:

Las plantas solares térmicas de concentración, más conocidas como termosolares, son una de las tecnologías renovables con gran futuro debido a su ventaja de gestión de la producción frente a las demás renovables gracias al sistema de almacenamiento.

El sistema de almacenamiento permite almacenar la energía en forma térmica en sales fundidas con una alta capacidad calorífica. Esto hace posible separar el sistema de almacenamiento de energía del sistema de producción eléctrica ya que el ciclo de vapor es libre de coger energía térmica del almacenamiento en función de sus necesidades.

El sistema de generación eléctrica, en el que está incluido el sistema de generación de vapor (SGV) para la turbina, es un sistema bastante convencional por su similitud a las plantas térmicas. Sin embargo, el sistema de almacenamiento de la energía en forma de calor mediante un campo solar es un sistema que especialmente en la tecnología de torre central es totalmente novedoso.

Gemasolar ha sido la primera planta comercial de torre en todo el mundo en implantar este sistema de almacenamiento en sales fundidas. Con este sistema se puede generar energía eléctrica durante 15 horas de forma continua. El receptor de sales fundidas permite además calentar directamente las sales fundidas alcanzando los 565°C que hacen más eficiente el ciclo termodinámico.

Uno de los principales problemas para cumplir con la producción estimada radica principalmente en los días con transitorios de radiación normal directa debido a las nubes que sombrean el campo solar. Con el objeto de maximizar el aprovechamiento en estos días, se desarrolló un sistema de predicción de nubes con la Universidad de Almería. El sistema consiguió tener un gran acierto en la predicción de las nubes que sombrean el campo solar. Sin embargo, el sistema resultó tener algunas carencias como el gran coste del instrumental que no permitía dar ventajas al desarrollo como la triangulación mediante cámaras de nubes para determinar la altura exacta de la nube, así como el alto mantenimiento requerido por el instrumental. Este alto coste y alto mantenimiento hacen que el desarrollo sea un buen desarrollo científico pero no aplicable para la industria.

Objetivos:

En este proyecto se pretende realizar un desarrollo útil y viable para los operadores de una planta termosolar, en el que se utilizará el desarrollo de predicción de nubes realizado por la Universidad de Almería. Uno de los principales inconvenientes del desarrollo realizado es su alto coste en instrumentación y mantenimiento que hace difícil explotar el potencial de la herramienta.

Por lo tanto, se estudiará diferente instrumentación disponible en el mercado para conseguir el mismo índice de acierto y las mismas ventajas para el usuario final, el operador. Esto repercutirá en la obtención de un producto final que consiga optimizar la operación en los transitorios de nubes, principal problema de operación en la tecnología termosolar.

Resultados durante 2014:

Partiendo de la metodología desarrollada para la identificación de la nubosidad en imágenes de cámaras de cielo (tanto TSI-880 como Mobotix Q24), durante el desarrollo de esta anualidad se ha confeccionado un sistema capaz de estimar y predecir la radiación solar directa, difusa y global utilizando únicamente las imágenes de este tipo de cámaras.

La idea radica en la gran demanda mundial de sistemas predictivos en tiempo real de la radiación solar que son considerados una herramienta muy potente y adaptable a los sistemas de control de las plantas solares, con el objetivo principal de optimizar y mejorar el funcionamiento de toda la infraestructura involucrada en la generación de electricidad, adaptando así la producción eléctrica a las condiciones meteorológicas.

Retomando la consecución de la metodología final con estas cámaras de bajo coste que están suponiendo la decantación total del sector total en el estudio atmosférico desde un punto de vista terrestre, el proceso de predicción de radiación solar está compuesto, fundamentalmente, por diferentes procedimientos. Una vez que las imágenes han sido recibidas, se tratarán todas y cada una de ellas a nivel de píxel. Tras la realización de numerosas correlaciones y procesamientos matemáticos, se definieron las combinaciones de canales de los espacios de color RGB (Red, Green, Blue) y HSV (Hue, Saturation, Vale), junto con la altura solar de cada instante; que mejor representaban cada componente de la radiación solar, para posteriormente modelar estos datos y obtener un modelo específico que estimase cada componente de la radiación solar a nivel de píxel. Una división dinámica de la imagen será utilizada para obtener valores finales de radiación solar directa, difusa y global en tiempo real para todo tipo de condiciones de cielo. Numéricamente, los valores de irradiancia directa, difusa y global se estiman con un valor de nRMSE del orden del 16, 7 y 9%, respectivamente.

Sin embargo, se estudió la posibilidad de generar un paso más que sería el que cerrase el tema predictivo. Basándose en la metodología que estudia el movimiento aparente de las nubes (obtenida en el desarrollo de previos proyectos, y donde el método de la correlación cruzada máxima es utilizado) los valores estimados de las diferentes componentes de la radiación solar son desplazados, obteniendo así una

predicción en tiempo real a tres horas vista y en intervalos temporales de un minuto, de los valores de radiación solar directa, difusa y global. En este caso, la predicción de la radiación solar es obtenida con aciertos muy importantes, donde el valor de nRMSE resultante de la predicción de radiación directa es de un 25%, mientras que para difusa y global es de un 10%.

Al mismo tiempo, la cámara de cielo de bajo coste Mobotix Q24 ha sido integrada en una aplicación software desarrollada exclusivamente para proporcionar la información meteorológica futura en tiempo real, a través de su interfaz gráfica, fundamentalmente destinada a los operadores de plantas solares, consiguiendo así congregarse en un mismo sistema diferentes algoritmos desarrollados para poder predecir el recurso solar a corto plazo en diferentes intervalos horarios.

Abstract:

The electric generation system, where the steam generation system (SGV) is included, is a conventional system due to its similitude with thermal plants. However, the energy storage system (in hot form through a solar field) is totally newfangled in technology of central tower.

Gemasolar has been the first commercial plant with central tower technology in all of the world that has implanted this storage system in molten salts. With this system it can be possible to generate electric energy during 15 hours continuously. Also, the receiver of molten salts, allows to heat them directly, reaching 565°C making more efficient the thermodynamic cycle.

One of the main problems to carry out the estimated production is mainly on days with transients in the direct normal radiation due to clouds that shade the solar field. In order to maximize the use in these days, it was developed a system of forecast of clouds with the University of Almería. The system was able to have a great success in the forecast of clouds that shade the solar field. However, the system turned out to have some shortcomings such as the high cost of instruments that not allow to give advantages for the development, as the triangulation through cameras of clouds to determinate the height, as well as the high maintenance required by instruments. This high cost and high maintenance provoke that the development is a good scientific development but not applicable to the industry.

In this project is pretends to do an useful and feasible development for operators of a solar thermal power plant, in which, the development of forecast of clouds performed by University of Almería, will be used. One of main drawbacks of development is the high cost in instrumentation and maintenance that does it difficult to maximize performance.

Therefore, available different instrumentation will be study to get the same advantages and success for the end-user, the operator. This will help to have an end-product that optimizes the operation in the transients of clouds, main problem in the operation in the solar thermal technology.

Publicaciones:

N.A.

2.5.6. Módulo piloto polivalente para evaluación, optimización y mejora de los sistemas de fríoconservación agroalimentaria con energías renovables**Participantes:**

Grupo de Inv. "Recursos Energético Solares y Climatología". Universidad de Almería (TEP-165)

Contactos:

F.J. Batlles (fbatlles@ual.es).

Fuente de financiación:

N.A.

Duración prevista:

Septiembre 2014 – Diciembre 2015

Situación:

En curso

Resumen:

El objetivo fundamental del proyecto consiste en analizar la eficiencia energética de un sistema de fríoconservación basado en almacenamiento de energía en cambio de fase y un sistema de refrigeración basado en "frío solar", sistema de absorción, para diferentes necesidades energéticas y ambientales. Las líneas de investigación en las que se utilizarán serán: almacenamiento de frío en cambio de fase, modelización de sistemas de acumulación de hielo ligado a las energías renovables, caracterización y modelización de modelos óptimos de fríoconservación, eficiencia energética en sistemas de fríoconservación.

Objetivos:

Evaluación y modelización energética del sistema de fríoconservación instalado en el edificio CIESOL.

Implementación y pruebas experimentales de nuevos algoritmos de control propuestos para mejora de la instalación.

La realización de múltiples ensayos sobre aprovechamiento de frío solar acumulado, aportando aún más funcionalidad y ahorro energético a la actual instalación del edificio CIESOL.

Análisis del impacto energético y ambiental teniendo en cuenta varios factores como por ejemplo: ahorro de energía primaria, emisiones de CO₂, costes de inversión, operación y mantenimiento anual y finalmente el periodo de amortización de la instalación estudiada.

Publicaciones:

N.A.

2.5.7. Mejora de procesos agroalimentarios de frigoconservación y postcosecha desde el punto de vista cualitativo, energético y económico**Participantes:**

Grupo de Inv. "Recursos Energético Solares y Climatología". Universidad de Almería (TEP-165)

Contactos:

F.J. Batlles (fbatlles@ual.es).

Fuente de financiación:

Savia Biotech

Duración prevista:

Noviembre 2014 – Diciembre 2016

Situación:

En curso

Resumen:

El objeto del proyecto es el suministro e instalación de un Módulo Piloto Polivalente para ensayos de Evaluación, Optimización y Mejora de los sistemas de Producción y Conservación del sector Agroalimentario Almeriense. El Módulo se instalará en una ubicación privilegiada como es el edificio "CIESOL" de la UAL en Almería. El módulo Piloto polivalente estará compuesto de tres partes o módulos principales que a su vez serán complementarios entre sí, y de una sala de supervisión y control común en donde se instalará un sistema de adquisición de datos, monitorización y control remoto flexible que va a permitir la gestión, supervisión y evaluación de los diferentes ensayos a realizar dirigidos a mejorar el sector agroalimentario estatal y en concreto su caracterización sobre el entorno Almeriense.

Objetivos:

- Estudiar la eficiencia y ahorro energético en cámaras de frigoconservación.
- Validar y cuantificar el ahorro energético del nuevo sistema frente al convencional.
- Comparar los sistemas de acumulación de energía por cambio de fase y reconocer el sistema óptimo para el entorno almeriense.
- Evaluar y optimizar el modelo de acumulación de hielo ligado a renovables.
- Validar y cuantificar el ahorro energético del nuevo sistema.
- Realizar ensayos de postcosecha con diferentes tipos de frutas y verduras para validar y optimizar su conservación con las nuevas tecnologías.
- Divulgar y presentar los resultados trasladables al sector agroalimentario Almeriense.
- Concretar y caracterizar el futuro modelo óptimo de frigoconservación Almeriense mediante una herramienta de simulación tangible.

Publicaciones:

N.A.

2.5.8 Transferencia y Actividades Complementarias

- Estancia en el mes de septiembre en la Universidad Católica de Guayaquil (Ecuador) para presentar, entre otros, el sistema de predicción de nubosidad y radiación en tiempo real utilizando imágenes de cámaras de cielo de bajo coste.
- Organización y asistencias de la visita de una Delegación de la Universidad Católica de Guayaquil, Ecuador, formada por el docentes expertos en Energías Renovables, para una colaboración en temas de evaluación de recurso solar.
- Varias reuniones con la empresa Torresol Energy O&M, S.L. para la elaboración de un proyecto común.

2.6 ACTIVIDADES EN DESALACIÓN Y FOTOSÍNTESIS

El grupo de Desalación y fotosíntesis está conformado por investigadores del departamento de Ingeniería de la Universidad de Almería así como de la Plataforma Solar de Almería. Se trata de un grupo de trabajo en proceso de conformación como grupo de investigación independiente. Actualmente sus investigadores pertenecen a los grupos de investigación "Ingeniería de bioprocesos y tecnologías del agua, BIO263", "Biotecnología de microalgas marinas, BIO173", y la Plataforma Solar de Almería. El grupo se conformó como tal en 2014 y ha comenzado su desarrollo con la instalación de nuevas infraestructuras y la integración en el equipo de diversos investigadores con actividad en campos comunes relacionados con la energía solar ya sea para desalación de agua mediante membranas usando la energía solar o la utilización de la energía solar en procesos biológicos de depuración empleando microalgas. Estas líneas presentan puntos en común con otros grupos de CIESOL con los que se mantiene una estrecha colaboración.

2.6.1 Líneas estratégicas del grupo

El grupo desarrolla dos líneas paralelas de trabajo, ambas relacionadas en el uso de la energía solar, ya sea para la desalación y tratamiento de agua mediante sistemas con membranas o para la producción de microalgas y productos de interés. En ambos casos se emplea usualmente agua de mar como materia de partida, aunque los procesos pueden extenderse al uso de aguas de diversas calidades, desde agua dulce a salmueras concentradas. Las líneas estratégicas de actuación son:

- Desarrollo de sistemas basados en membranas para desalación solar y tratamiento de efluentes.
- Aplicación de energía solar al tratamiento de medios hipersalinos
- Recuperación de compuestos de interés de salmueras y efluentes concentrados
- Desarrollo de fotobiorreactores para la producción de microalgas
- Aplicaciones de las microalgas en tratamiento de efluentes
- Obtención de productos de valor a partir de microalgas.

Main research lines:

Application of solar energy for desalinization and wastewater treatment using membranes and the production of microalgae and valuable products using these microorganisms. The strategic lines of action are:

- *Development of desalinization and treatment of effluents processes using membrane technologies.*
- *Utilization of solar energy for treatment of hypersaline effluents.*
- *Recovery of valuable compounds from highly concentrate effluents.*
- *Development of photobioreactors for the production of microalgae.*
- *Utilization of microalgae for treatment of effluents*
- *Production of valuable compounds using microalgae.*

2.6.2 Investigadores principales del grupo**Jose M. Fernández Sevilla** (Scopus Author 6602856181)

Profesor Titular de Universidad. Departamento de Ingeniería. Químico Industrial (1991) por la Universidad de Granada, Doctor en Ciencias Químicas (1995) por la Universidad de Almería. Ha participado en doce proyectos de I+D de ámbito nacional e internacional, liderando tres de ellos, así como en quince contratos con empresas. Ha dirigido cuatro tesis doctorales en el campo de la biotecnología de microalgas, y es coautor de siete patentes y una centena publicaciones científicas en revistas internacionales.

Jose María Fernández Sevilla (Scopus Author 6602856181)

Assistant Professor. Department of Engineering. Degree in Chemical Engineering by Univ. of Granada (1991); PhD by the Univ. of Almería (1995). He has been involved in 12 research projects (European and Spanish projects) and has leaded 3 of them. 15 Research contracts with private companies most of them related with Biotechnology of microalgae. He has directed 3 PhD theses, co-authored 100 peer-reviewed international papers.

Guillermo Zaragoza del Águila (Scopus Author 6701505211)

Científico contratado del CIEMAT. Departamento de Desalación Solar (Plataforma Solar de Almería) desde 2009. Astrofísico (1991) por la Universidad Complutense de Madrid, Doctor en Ciencias Físicas (1996) por la Universidad de Granada. Previamente ha realizado su investigación en el Instituto de Astrofísica de Andalucía (Consejo Superior de Investigaciones Científicas), la Universidad de Oxford y la Estación Experimental "Las Palmerillas" de la Fundación Cajamar, donde se encargó de la aplicación de energías renovables a los invernaderos y la desalación. En la actualidad su actividad se centra en la desalación solar y coordina el Action Group "Renewable Energy Desalination" de la European Innovation Partnership on Water (Comisión Europea).

Guillermo Zaragoza del Águila (Scopus Author 6701505211)

Researcher contract at CIEMAT. Department of Solar Desalinization (Plataforma Solar de Almería) from 2009. Astrophysics from University Complutense of Madrid (1991). Ph. D. Physic Science (1996) by the University of Granada. Researcher at the Andalusian Institute of Astrophysics (CSIC), University of Oxford and Research Center "Las Palmerillas" from Foundation Cajamar. Expertise in application of renewable energy for greenhouses and desalinization. Coordinator of Action Group "Renewable Energy Desalination" de la European Innovation Partnership on Water (European Commission).

2.6.3 Miembros del grupo

José María Fernández Sevilla (UAL)



Guillermo Zaragoza del Águila (PSA-CIEMAT)



Francisco Gabriel Acién Fernández (UAL)



Diego César Alarcón Padilla (UAL-CIEMAT)



María del Mar Morales Amaral (UAL)



Alba Ruiz Aguirre (PSA-CIEMAT)



Cintia Gómez Serrano (UAL)



Juan Antonio Andrés Mañas (UAL-CIEMAT)



Pablo Fernández del Olmo (UAL)



Patricia Palenzuela (UAL-CIEMAT)



2.6.4 Zero Carbon Resorts (ZCR)**Participantes:**

Unidad de "Desalación Solar". PSA-CIEMAT

Contactos:

G. Zaragoza (gzaragoza@psa.es)

Fuente de financiación:

Comisión Europea, programa SWITCH-ASIA

Duración prevista:

Noviembre 2009 – Noviembre 2013. Prorrogado hasta mayo 2014.

Situación:

Finalizado

Resumen:

En el caso de asentamientos aislados, como es el caso de las islas, el abastecimiento energético depende en la actualidad fuertemente de energías fósiles (fundamentalmente se utilizan generadores de gas-oil). Las Filipinas, con más de 7000 islas, son un ejemplo típico de ello, y el turismo, con sus elevados consumos de agua y energía, uno de los sectores que mayor impacto medioambiental causa en el país. El objetivo general de este proyecto es mejorar sustancialmente la eficiencia energética y la sostenibilidad del sector turístico, especialmente en la región de Palawan, reduciendo su huella carbónica mediante: (i) arquitectura bioclimática; (ii) empleo de energías renovables para generación de energía y agua; (iii) prácticas sostenibles en el consumo de energía y agua. La acción propuesta pretende estimular la economía local, permitiendo a las Pymes locales de la industria del turismo desarrollar la capacidad para lograr tales objetivos. Para ello se plantea una formación consistente en una serie de cursos y talleres, además de llevar a cabo un ejemplo de demostración consistente en la adaptación de un complejo turístico mediante la implementación de prácticas sostenibles, recurriendo a materiales, recursos y tecnologías verdes disponibles localmente. La unidad de "Desalación Solar" de la PSA participa en el proyecto con los siguientes objetivos específicos

Objetivos:

- Diseño de un sistema autónomo de abastecimiento de energía y agua basado en energía solar para establecimientos turísticos aislados.
- Estudio y caracterización del proceso de destilación por membranas con energía solar.
- Evaluación de sistemas comerciales de destilación por membranas.
- Investigación sobre la aplicación de la destilación por membranas al tratamiento de aguas con contaminación biológica.
- Difusión de los resultados y elaboración de informes científicos.

Resultados durante 2014:

Los resultados de los trabajos realizados en destilación por membranas con energía solar se han publicado en varios artículos científicos. Las principales conclusiones son que los prototipos comerciales tienen mucho menor rendimiento que el demostrado en los estudios a escala de laboratorio debido a las ineficiencias termodinámicas inherentes a la operación a escala real con mayor superficie de membrana (la fuerza impulsora del proceso, que es una diferencia de presión de vapor a ambos lados de la

membrana, decrece a medida que el proceso va teniendo lugar a lo largo de la superficie de la membrana y la temperatura baja). La producción específica es tres veces inferior y el factor de concentración no supera el 20%. Los módulos de placa y marco muestran mucha peor estanqueidad que los módulos de arrollamiento en espiral, en los que la recuperación interna de calor latente mejora además el rendimiento del módulo. Sin embargo, existe un conflicto entre la mayor eficiencia energética y la productividad, relacionado con la longitud de los canales y el tiempo de residencia del agua en el módulo. Si se aumentan estos parámetros, se consigue una mejor recuperación de energía (disminuyendo el consumo de calor hasta un mínimo de 65 kWh/m³) pero la productividad baja, mientras que si se maximiza la producción del módulo (hasta un máximo de 8 l/h.m²), disminuye su eficiencia energética. Una configuración más avanzada en la que se superponen varias etapas de placa y marco funcionando con vacío (siguiendo un principio de destilación multi-efecto) muestra una eficiencia energética similar pero con mucho mayor factor de concentración (por encima del 50%), aunque también un mayor consumo eléctrico asociado al establecimiento y mantenimiento del vacío.

La calidad del destilado obtenido es en general muy alta, salvo en el caso en el que se producen filtraciones (algunos módulos de placa y marco). En cuanto al tratamiento de aguas con contaminación biológica, el proceso de destilación por membranas es capaz de producir agua pura a partir de agua contaminada con *E-coli*, *F-Fusarium* y *Chlostridia*. En los dos primeros casos, los patógenos son desactivados también en el concentrado, mientras que en el último, que es más resistente a la temperatura, la destilación por membranas se muestra un pre-tratamiento eficaz para una exitosa eliminación del patógeno con foto-Fenton, algo que no era posible conseguir en ensayos previos sin destilación por membranas.



Figura 2.6.4.1. Sistemas comerciales de destilación por membranas evaluados por el grupo "Desalación y Fotosíntesis"

Abstract:

The aim of this project is to promote sustainable development of the tourist sector in the Philippines. The participation of the "Solar Desalination" Unit of PSA-CIEMAT (part of this CIESOL group) is focused on providing solutions for decentralized energy and water supply in order to build autonomous resorts. Most of

the work has been done on the technology of solar membrane distillation, coupled with low temperature solar thermal energy.

Objectives:

- Design an autonomous system for energy and water supply to isolated resorts, based on solar energy.
- Analyze and characterize the process of membrane distillation powered by solar thermal energy.
- Evaluate commercial systems of membrane distillation.
- Research on the application of membrane distillation to treat water with biological contaminants.
- Dissemination of results and elaboration of scientific reports.

Publicaciones:

- Zaragoza, G., Ruiz-Aguirre, A., Guillén-Burrieza, E. **Efficiency in the use of solar thermal energy of small membrane desalination systems for decentralized water production.** Applied Energy 2014. 130, 491-499.
- Guillen-Burrieza, E., Ruiz-Aguirre, A., Zaragoza, G., Arafat H.A. **Membrane fouling and cleaning in long term plant-scale membrane distillation operations.** Journal of Membrane Sciences 2014. 468, 360-372.
- Ruiz-Aguirre, A., Polo-López, M.I., Fernández-Ibáñez, P., Zaragoza, G. **Assessing the validity of solar membrane distillation for disinfection of contaminated water.** Desalination and Water Treatment 2015. In press,
- Ruiz-Aguirre, A., Alarcón-Padilla, D.-C., Zaragoza, G. **Productivity analysis of two spiral-wound membrane distillation prototypes coupled with solar energy.** Desalination and Water Treatment 2015. In press.

2.6.5 Investigación de tecnologías de tratamiento, reutilización y control para la sostenibilidad futura de la depuración de aguas residuales (ITACA)"**Participantes:**

Aqualia S.A.
Departamento de Ingeniería, Universidad de Almería
Estación Experimental Las Palmerillas, Fundación Cajamar

Contactos:

F. Gabriel Acién (facien@ual.es)

Fuente de financiación:

Centro para el Desarrollo Técnico Industrial, CDTI
Aqualia S.A.

Duración prevista:

Febrero 2013 - Agosto 2014.

Situación:

Finalizado

Resumen:

El proyecto ITACA se plantea como un conjunto de actuaciones paralelas al establecimiento de una planta industrial de producción de microalgas mediante depuración de aguas residuales por parte de AQUALIA S.A. en Chiclana, España, empleando reactores abiertos. El objetivo del mismo es analizar y modelizar el comportamiento de los consorcios de microalgas y bacterias en función de las condiciones de operación y proponer estrategias de diseño, operación y control que permitan optimizar el funcionamiento de los reactores a ubicar en Chiclana, y alcanzar así los objetivos de depuración de agua y producción de biomasa deseados. Los reactores a optimizar serán reactores raceway, los cuales son ampliamente utilizados en la producción de microalgas por su bajo coste. Estos reactores presentan limitaciones relacionadas con la transferencia de materia, así como son difíciles de controlar ya que se encuentran abiertos y carecen en la mayoría de los casos de actuadores o sistemas de control adecuados. Además, al tratarse de consorcios de bacterias con microalgas para la depuración de aguas residuales el comportamiento de estos sistemas es distinto del uso habitual de estos reactores para la producción de microalgas por lo que su operación y control se dificulta aún más. Se pretende identificar y resolver estos problemas, y desarrollar un modelo basado en primeros principios que permita optimizar el diseño, operación y control de este tipo de reactores y por tanto su rendimiento. Los organismos ejecutores del proyecto serán el Departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Almería (DIQ), en colaboración con el Departamento de Lenguajes y Computación de la Universidad de Almería así como con la Estación Experimental Las Palmerillas de la Fundación Cajamar. Todos ellos constituyen un ente ejecutor único a todos los efectos. Se trata por tanto de un proyecto multidisciplinar en el que se requiere una estrecha colaboración de los grupos participantes para lograr los objetivos deseados.

Objetivos:

- Puesta a punto de métodos de cuantificación
- Modelización en condiciones de laboratorio
- Modelización en condiciones reales
- Verificación a mayor escala

Resultados durante 2014:

De los resultados obtenidos hasta ahora se puede concluir que la utilización de consorcios de microalgas y bacterias para la depuración de aguas de primario es factible, sin bien debe optimizarse el manejo de estos consorcios para maximizar su rendimiento. Se han puesto a punto las diferentes metodologías necesarias para estudiar estos sistemas, destacando la puesta a punto de un método de cuantificación de la población de microalgas y bacterias presentes, si bien es necesario poner a punto un método que mida la actividad de estos consorcios. Los sistemas puestos a punto en interno permiten estudiar con precisión estos sistemas, concluyéndose que los consorcios están mayoritariamente formados por microalgas siendo baja la presencia de bacterias. Esto puede ser inadecuado ya que las bacterias son las que degradan a mayor velocidad la materia orgánica, produciéndose una producción excesiva de oxígeno y un desequilibrio del consumo/producción de nutrientes. Es por ello que se debe incrementar la presencia de bacterias por optimización del aporte de aire o uso de recirculación de lodos. En externo se ha comprobado la viabilidad de llevar a cabo este proceso con aguas y condiciones reales, observándose comportamientos análogos a los determinados en interno. Los valores obtenidos de producción de biomasa son elevados pero la optimización del manejo de estos sistemas debe permitir incrementar su eficiencia y capacidad de depuración.

Abstract:

This project is a private contract between Aqualia and UAL to develop research in parallel with the build-up of a demonstration facility for wastewater treatment using microalgae in Chiclana, Spain. The aim of this project is to analyze and model the behavior of microalgae-bacteria consortium as a function of operation conditions and to develop strategies for the design, operation and control of this type of systems. The objective is to maximize the yield of the processes in order to achieve the target objectives about biomass production (100 t/Ha ·annun) and water treatment (COD, nitrogen and phosphorous removal). The research will be performed using only open reactors in outdoor conditions, also using real wastewater from primary treatment. Open reactors are widely used in microalgae production but its performance has not been yet optimized, additional modifications being necessary when they are used for wastewater treatment. Research will be performed in collaboration with Estación Experimental Las Palmerillas from Foundation Cajamar, in addition to Aqualia.

Objectives:

- Development of adequate quantification methods
- Model of the process under controlled laboratory conditions
- Model of the process at outdoor conditions.
- Validation of the model at large scale.

Publicaciones:

- Sepúlveda, C., Ación, F.G., Gómez, C., Jiménez-Ruiz, N., Riquelme, C., Molina-Grima, E. **Utilization of centrate for the production of the marine microalgae *Nannochloropsis gaditana***. Algal Research, 2015. Aceptado.
- Posadas, E., Morales, M.M., Gomez, C., Ación, F.G., Muñoz, R. **Influence of pH and CO₂ source on the performance of microalgae-based secondary domestic wastewater treatment in outdoors pilot raceways**. Chemical Engineering Journal 2014. Aceptado.

- Ramos-Suárez, J.L., García-Cuadra, F., Acien, F.G., Carreras, N. **Benefits of combining anaerobic digestion and amino acid extraction from microalgae**. Chemical Engineering Journal 2014. 258: 1–9.
- Tran, K. C., Mendoza Martin, J. L., Heaven, S., Banks, C.J., Acien Fernandez, F.G., Molina Grima, E. **Cultivation and anaerobic digestion of Scenedesmus spp. grown in a pilot-scale open raceway**. Algal Research 2014. 5, 95–102
- Costache, T. A., Acien Fernández F.G., Morales, M.M., Fernández-Sevilla, J.M., Stamatini, I., Molina, E. **Comprehensive model of microalgae photosynthesis rate as a function of culture conditions in photobioreactors**. Applied Microbiology and Biotechnology 2013. 97 (17), pp. 7627–7637
- de Godos, I., Mendoza, J.L., Acien, F.G., Molina, E., Banks, C.J., Heaven, S., Rogalla, F. **Evaluation of carbon dioxide mass transfer in raceway reactors for microalgae culture using flue gases**. Bioresource Technology 2014. 153: 307–314.
- Mendoza, J.L., Granados, M.R., de Godos, I., Acien, F.G., Molina, E., Banks, C., Heaven, S. **Fluid-dynamic characterization of real-scale raceway reactors for microalgae production**. Biomass and Bioenergy 2013. 54 267 e 275.
- Gómez, C., Escudero, R., Morales, M.M., Figueroa, F.L., Fernández-Sevilla, J.M., Acien, F.G. **Use of secondary-treated wastewater for the production of Muriellopsis sp.** Appl Microbiol Biotechnol 2013. 97:2239–2249.
- Mendoza, J.L., Granados, M.R., de Godos, I., Acien, F.G., Molina, E., Heaven, S., Banks C.J. **Oxygen transfer and evolution in microalgal culture in open raceways**. Bioresource Technology 2013. 137 188–195.

2.6.6 Modelling, SimulAtion, ContRol and Optimization of photoBIOreactors (MACROBIO)"**Participantes:**

Grupo de Inv. "Automática, Robótica y Mecatrónica". Universidad de Almería (TEP 197)
Grupo de Inv. "Biotecnología de Algas Marinas". Universidad de Almería (BIO-173)
Grupo de Informática y Automática de la UNED

Contactos:

J.L. Guzmán (joseluis.guzman@ual.es)
F.G. Acién (facien@ual.es)
José Sánchez (jsanchez@dia.uned.es)

Fuente de financiación:

Ministerio de Economía y Competitividad. Plan Nacional 2010. (DPI2011-27818-C02)

Duración prevista:

Enero 2011 – Diciembre 2014.

Situación:

Finalizado

En coordinación con la Unidad de Modelado y Control Automático. Ver sección 2.4.6.

2.6.7 Nuevos tratamientos para la mejora en la calidad de las aguas ácidas de la minería (TAAM)**Participantes:**

Unidad de "Desalación Solar", PSA-CIEMAT

Contactos:

Dr. Diego-César Alarcón-Padilla (diego.alarcon@psa.es)

Fuente de financiación:

Sociedad Anónima de Depuración y Tratamientos, SADYT. FEDER 2013. (Orden CIN/1729/2011)

Duración prevista:

Julio 2012 – Diciembre 2014. Prorrogado hasta junio 2015.

Situación:

En curso

Resumen:

Los ríos Tinto y Odiel, en la provincia de Huelva, están muy contaminados como consecuencia de las actividades mineras en la zona. Durante los últimos años se ha intentado abordar el tratamiento pasivo de los lixiviados ácidos. Sin embargo, la alta concentración de contaminantes en las aguas residuales de las actividades mineras hace necesario el desarrollo de nuevas técnicas de tratamiento con mejor rendimiento económico que las actuales.

Objetivos:

El objetivo de la Actividad 4, en la que participa el CIESOL, es desarrollar un proceso de tratamiento mediante membranas de ósmosis inversa con vertido cero (líquido) del agua para la mejora de la calidad del agua de la presa de Alcolea, sostenible ambiental, energética y económicamente. El objetivo particular de este grupo CIESOL es investigar la eficiencia del tratamiento de las aguas ácidas mediante un proceso de ósmosis inversa alimentado por energía solar térmica.

Resultados durante 2014:

Declarados confidenciales

Abstract:

Tinto and Odiel rivers, in the province of Huelva (Spain), are deeply contaminated as a consequence of the mining activity. During the last years, several research lines have been started aiming to the passive treatment of the acid leachates. However, the high concentration of the contaminants makes necessary the development of new techniques with better economic feasibility than the current ones.

Objectives:

The group collaborates within the Research Line 4 of the project, whose main objective is to investigate the effectiveness of treating acid waters with reverse osmosis process powered by solar thermal energy.

Publicaciones:

Se encuentran en elaboración

2.6.8 Improving the Performance of Concentrating PV by Exploiting the Excess Heat through a Low Temperature Supercritical Organic Rankine Cycle (CPV/RANKINE)

Participantes:

Unidad de “Desalación Solar”. PSA-CIEMAT

Contactos:

Dr. Guillermo Zaragoza (guillermo.zaragoza@psa.es)

Fuente de financiación:

Comisión Europea, 7^oPM, Acciones SME

Duración prevista:

Enero 2013 – Diciembre 2014.

Situación:

Finalizado

Resumen:

El proyecto se basa en el principio fundamental de que el calor producido en un sistema de concentración fotovoltaica (CPV/T) se puede convertir en trabajo mecánico y finalmente electricidad a través de un ciclo Rankine Orgánico Supercrítico (SCORC).

Objetivos:

El objetivo del proyecto es estudiar en detalle la configuración integrada y diseñar, construir y evaluar un sistema híbrido CPV/T-SCORC con capacidad de 14 kWp, donde el calor del CPV/T se recupera por el SCORC para generación adicional de electricidad.

Resultados:

El proyecto concluyó en 2014 con la implementación y la evaluación de un sistema CPV/T-SCORC en la Agricultural University of Athens, y la evaluación de su operación en condiciones climáticas reales. El campo solar se compone de 10 captadores cilindroparabólicos CPV/T con una potencia pico de 10 kW. La energía térmica generada durante el proceso de refrigeración de los captadores se recupera en un intercambiador de calor supercrítico calentando un fluido orgánico (R404a) hasta 95 °C para su expansión en un sistema SCORC con capacidad de 3 kWp de electricidad adicional. El sistema se ha operado en condiciones estacionarias y no estacionarias. El estudio tecno-económico indica una necesidad de reducir los costes de inversión de la tecnología para disminuir el coste final de la electricidad producida.



Figura 2.6.8.1. Captadores CPV/T de Absolicon utilizados en el proyecto CPV-Rankine

Abstract:

The project is based on the fundamental principal that heat, produced by concentrating photovoltaic/Thermal (CPV/T) system, can be effectively converted into mechanical work and finally to electricity through a Supercritical Organic Rankine Cycle (SCORC) process.

Objectives:

The scope of the project is to extensively study this integrated configuration and to develop, construct and test a hybrid CPV/T- SCORC system with capacity of 14 kWp, where CPV/T heat is effectively recovered by the SCORC process for additional electricity generation.

Publicaciones:

Se encuentran en elaboración

2.6.9 Management of mine water discharges to mitigate environmental risks for post-mining period (MANAGER)**Participantes:**

Główny Instytut Górnictwa, Poland
Hulleras del Norte S.A., Spain
Asociación Para La Investigación Y Desarrollo Industrial de Los Recursos Naturales, Spain
DMT GmbH & CO. KG, Germany
Universidad de Almería, Spain
Centre for Research and Technology Hellas, Greece
Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques , France
IXSANE S.A.S, France
The Coal Authority, United Kingdom
TAURON Wydobycie S.A., Poland

Contactos:

F. Gabriel Acién (facien@ual.es)

Fuente de financiación:

European Commission, Research Programme of the Research Fund for Coal and Steel

Duración prevista:

Julio 2013 – Diciembre 2015

Situación:

En curso

Resumen:

El proyecto MANAGER tiene por objetivo desarrollar y evaluar diferentes tecnologías de tratamiento de aguas de mina contaminadas con metales pesados para su aplicación en escenarios posteriores al cierre de las actividades mineras. En este proyecto participan diversos centros de investigación y empresas europeas y el plan de trabajo se divide en cuatro etapas correspondientes al grado de desarrollo y aplicación de las distintas tecnologías, desde ensayos de laboratorio a la demostración en condiciones reales.

Objetivos:

- Evaluación de riesgos e impacto asociado a la contaminación de aguas de mina en escenarios posterior al cierre de actividad.
- Desarrollo de tecnologías de tratamiento de aguas de mina.
- Aplicación y validación de las tecnologías desarrolladas.
- Demostración a escala piloto de las mejores tecnologías desarrolladas.
- Coordinación y difusión de resultados.

Resultados durante 2014:

Se han realizado diversos ensayos a escala de laboratorio hasta conseguir demostrar que las microalgas pueden ser empleadas para la depuración de metales pesados contenidos en aguas de minería. Dichas aguas se pueden emplear para la producción de microalgas, si bien su bajo contenido en nitrógeno y fósforo requiere de la adición de nutrientes adicionales. En estas condiciones la remoción de metales pesados se hace por consumo siendo las tasas bajas, del orden de 1 mg/L·día. Sin embargo, la biomasa producida en una etapa previa puede emplearse directamente como material adsorbente de estos metales alcanzándose tasas de remoción muy superiores del orden de 100 mg/L·h. Esto lleva a que el

sistema más adecuado sea un proceso en dos etapas con la biomasa siendo producida en un reactor, y posteriormente puesta en contacto con el agua de mina para su depuración. La funcionalidad de este proceso ha sido demostrada a escala de laboratorio. Para verificar su viabilidad el proceso ha sido escalado a condiciones externas, empelando un reactor de 1.5 m3 para la producción de biomasa y una unidad de contacto compuesta por membrana de ultrafiltración para la retención de la biomasa de 10 m2 de área y 500 L de volumen. El sistema ha sido operado en continuo y ha demostrado su eficiencia. Este concepto ha sido diseñado y transferido a la empresa AITEMIN que lo está implementado para su evaluación en condiciones reales en la empresa HONOSA en Asturias.

Abstract:

MANAGER is the forward-looking and innovative research project specifically addressing the development of sustainable and cost-effective solutions to mitigate environmental risks concerning mine water discharges now and in the post-mining period. The mine water treatment is a basic component of overall mine water management during mine operations and in post-closure period. MANAGER project brings the innovation of a two kinds:

- Innovation in the technologies: Individual treatment technologies tested and applied within MANAGER project are either first field applications of technologies tested in lab only so far, or first applications of novel technologies for mine water treatment or improvements of existing technologies with innovative elements,*
- Innovation in the approach: MANAGER project attempts to create coherent approach to sustainable management of mine water discharges for long term period after mine closure.*

Objectives:

- Development and proposal of strategies for modelling and identification of microalgal biomass production processes. Both complex models for high-level requirements and simplified models for control design purposes will be required.*
- Development of model predictive control and event-based control strategies for the optimal biomass production of microalgae large-scale processes with reduced costs and mitigation of the environment pollution.*
- Implementation and validation of the developed strategies in different experimental plants with clear industrial relevance. Different types of industrial photobioreactors will be considered for this purpose.*

Publicaciones:

Se encuentran en elaboración

2.6.10 Transferencia y Actividades Complementarias

N.A.

3. INFRAESTRUCTURAS Y CAPACIDADES CIENTÍFICO-TECNOLÓGICAS DEL CENTRO

Desde su creación, el centro ha ido incrementado gradualmente el número y capacidades de sus infraestructuras científico-tecnológicas. En este capítulo se describirán las mismas así como la Unidad Técnica que se encarga del control y mantenimiento de dicho equipamiento y de colaborar con el resto de investigadores en el desarrollo de los proyectos. El amplio y avanzado equipamiento con el que se cuenta, otorga la posibilidad de ofertar un servicio de calidad y alta competitividad a la comunidad científica y las empresas del sector. En un futuro próximo, se considera la posibilidad de que dicho servicio sea ofertado en términos de externalización y apoyo a desarrollos de empresas centro, y poder revertir los resultados en la mejora de las capacidades y la cantidad de los proyectos y equipamiento del centro.

3.1 UNIDAD TÉCNICA

El hecho de ser un Centro interdisciplinar y recibir de forma permanente investigadores, doctorandos o estudiantes de fin de master afecta a la optimización de los equipos científicos, generando la necesidad de tener una actualización y un mantenimiento de los equipos permanente por parte del personal responsable. Dicho personal ha de ser capaz de entender no solamente el problema técnico sino también cual es el objetivo de la investigación que en cada caso se propone. Teniendo en cuenta esta necesidad, el Centro CIESOL designó una unidad técnica compuesta por Sabina Rosiek y Octavio Malato.

Esta unidad técnica está cofinanciada por el CIESOL y el Ministerio de Ciencia e Innovación (actual Ministerio de Economía y Competitividad), a través del Subprograma Personal Técnico de Apoyo (MICINN PTA) dentro de la modalidad de infraestructuras científico-tecnológicas. Ambos técnicos cuentan con la capacidad de tener una comunicación fluida en inglés y han sido considerados idóneos para la concesión de la ayuda, dado que cuentan con la formación técnica requerida y una experiencia laboral probada.

Cabe destacar el impacto que supone la actuación de ambos técnicos en el incremento y mejora de la investigación y transferencia de sus resultados en el Centro CIESOL, en tanto en cuanto, sus actividades anteriores en el Centro y fuera de él, se han plasmado en un elevado número de publicaciones científicas basadas en sus actividades tecnológicas e investigaciones.

A continuación se describirán las actividades de ambos técnicos.

Técnico de apoyo: Sabina Rosiek

(Subprograma Personal Técnico de Apoyo MICINN PTA2011-6319-I, modalidad Infraestructura)

El área de Evaluación del Recurso Solar y Eficiencia Energética en la Edificación del Centro de Investigaciones de la Energía Solar (CIESOL) dispone de una serie de infraestructuras que permiten realizar a nivel de planta piloto caracterización, evaluación de viabilidad, optimización y mejoras de las mismas. Estas infraestructuras científicas (instalación de calefacción y frío solar, y fotovoltaica conectada a la red) requieren un mantenimiento especializado y relativamente complejo debido a que son muchos y muy

diferentes los elementos que las componen. Es necesario destacar que dichos sistemas son las únicas fuentes de refrigeración y calefacción para el centro CIESOL, por lo cual es de vital importancia su ininterrumpido funcionamiento.

La experiencia del técnico contratado (ya que ha estado realizando actividades análogas en la misma instalación durante los últimos 6 años) permite la optimización de los trabajos experimentales y el uso diario de las instalaciones. El técnico cuenta por tanto, con la formación técnica y experiencia laboral requerida. Es y será responsable de cinco tareas:

- la realización de las tareas de servicio preventivo de que cada elemento.
- solución de averías que eventualmente pudieran producirse en los equipos.
- elaboración de informes de incidencias ocurridas en las instalaciones.
- la realización de operaciones de conservaciones de todos los equipos.
- la realización de posibles trabajos de puesta a punto que pudieran ser indicadas como una mejora de instalación.

Técnico de apoyo: Octavio Malato

(Subprograma Personal Técnico de Apoyo MICINN PTA2010-3379-I, modalidad Infraestructura)

El área de tratamiento de aguas del Centro de Investigaciones de la Energía Solar (CIESOL) de la UAL cuenta con distintas infraestructuras en muchos casos acopladas que permiten realizar a nivel de planta piloto el tratamiento y su evaluación de aguas de diferentes procedencias (residuales, industriales etc.). Estas infraestructuras científicas requieren un mantenimiento especializado que cubre aspectos como sistemas de comunicación informático de la instrumentación y reactores, bases de datos de contaminantes para su identificación y condiciones de tratamiento y sistemas de tratamiento de muestras.

La infraestructura científica requiere un constante trabajo de actualización y mantenimiento. Elementos destacados de esta infraestructura son: cromatógrafos, plantas piloto solares y reactores biológicos, etc. La instrumentación analítica está basada especialmente en espectrometría de masas de última generación y requiere un mantenimiento especializado. Este año se ha procedido optimizar y validar métodos analíticos sensibles y selectivos por LC-QTrap-MS/MS. Asimismo, se está poniendo a punto un nuevo sistema LC con detector de masas de alta resolución (AB SCIEX TripleTOF 5600+) de reciente adquisición, que permitirá la realización de estudios de identificación de intermedios. Para dar servicio y proteger a ambos equipos, se han debido instalar dos nuevas líneas eléctricas que se han dotado con SAIs y sistemas de rearme automático.

El técnico de apoyo Octavio Malato:

- realiza las tareas de mantenimiento básico de que cada equipo.
- es el encargado de supervisar las reparaciones y mantenimientos avanzados, y es el responsable de supervisar el uso diario de los equipos.

- da soporte informático y técnico al personal del área de aprovechamiento químico de la energía solar.
- junto con la técnico Sabina Rosiek, se encarga del mantenimiento y diseño de la página web del centro.
- colabora activamente en la organización de los congresos relacionados con su área.

Aunque las instalaciones e infraestructuras del centro se encuentran distribuidas entre el área de aprovechamiento químico de la energía solar y el área de aprovechamiento energético de la energía solar, cabe destacar que todas y cada una de ellas son propiedad del CIESOL, por tanto, de total acceso por parte de los investigadores de cualquiera de dichas unidades.

La presencia de las diferentes infraestructuras y el personal de las distintas unidades funcionales, así como contar con una unidad técnica especialista en el manejo y mantenimiento del equipamiento, nos convierte en un centro multidisciplinar en el cual cabe la posibilidad de combinar distintas áreas de investigación para desarrollar proyectos de investigación, tesis doctorales, dar servicios al exterior, etc.

3.2 INSTALACIONES E INFRAESTRUCTURAS DEL AREA DE APROVECHAMIENTO QUÍMICO DE LA ENERGÍA SOLAR

Como ya hemos descrito en otras ocasiones el equipamiento del que dispone el área de aprovechamiento químico de la energía solar, vamos tan solo a enumerarlo y por último describir las nuevas adquisiciones.

Sistema micromolar fotoquímico

El reactor micromolar fotoquímico es un sistema que permite irradiar de forma controlada un pequeño volumen de un sistema químico reactivo, tanto homogéneo como heterogéneo, utilizando como fuente de radiación la luz solar o, en su defecto, lámparas artificiales de luz halógena, es idóneo para estudiar las reacciones fotoquímicas a tiempo real o muy corto. De este modo se evita cualquier perturbación en el medio de reacción y se controla de forma constante todos los parámetros externos que puedan influir en la reacción

Espectrofotómetros

- Espectrofotómetro de fluorescencia Fluoromax-4 Horiba Jobin Yvon
- Espectrofotómetro UV-Vis JASCO V650
- Espectrofotómetro UV-Vis Hach Lange

Irradiador de tubos de RMN

Se usa principalmente para estudiar mecanismos de reacción mediadas por luz, identificación de especies intermedias y cinética de reacción

Carruseles de reacción

Los carruseles de reacción constan de doce tubos con tapa de teflón para trabajar en varios tipos de atmosfera de reacción, con un refrigerante en la parte superior de los tubos para condensación de líquidos. La temperatura de trabajo va desde temperatura ambiente hasta 300°C. Cada tubo se agita individualmente.

Se usa principalmente para hacer estudios catalíticos variando atmosfera de reacción, tiempo de reacción y temperatura de reacción.

Cromatógrafo Líquido de Alta Presión (UPLC Agilent Technologies series 1200)

El equipo permite el análisis de sustancias presentes en medios acuosos y orgánicos con alta precisión y con tiempos relativamente cortos de análisis mediante cromatografía inversa debido a su capacidad para trabajar a alta presión. Este dispositivo es utilizado para la detección de contaminantes presentes en el agua y permite estudiar la eliminación de los mismos.

Cromatógrafo de Gases SHIMADZU GC-2010

El cromatógrafo de gases está equipado con una columna capilar Supelco SP-2330, con un detector FID, con posibilidad de inyección de muestra split/splitless. Se usa principalmente para separar e identificar

sustancias orgánicas producidas en procedimientos catalíticos con compuestos organometálicos y como fuente de energía la luz solar y/o la térmica.

Espectrómetro de masas AB SCIEX QTRAP 5500 LC/MS/MS

Se trata de un espectrómetro de masas híbrido cuadrupolo-trampa de iones lineal acoplado a cromatografía líquida de alta resolución. Proporcionan excelente sensibilidad en full scan, MS/MS y MS³. Se aplica a la determinación de microcontaminantes orgánicos (plaguicidas, contaminantes emergentes, etc.) presentes en muestras de aguas residuales y otras matrices medioambientales, así como al seguimiento de los mismos durante los ensayos de degradación

Espectrómetro de masas triple cuadrupolo BRUKER 320MS acoplado al cromatógrafo de gases BRUKER 450GC

Este sistema cromatográfico es complementario a los anteriores ya que permite análisis de compuestos orgánicos de baja/media polaridad. Se aplica especialmente a la determinación de niveles traza de contaminantes como fragancias sintéticas, plaguicidas, PAH, etc.

Cromatógrafo iónico (Metrohm 881 Compact IC Pro)

Este cromatógrafo permite el análisis preciso de aniones o cationes en concentraciones de µg/L a g/L, con límites de detección <1 µg/L. Este sistema es fundamental para la caracterización de efluentes acuosos con los que se lleva a cabo la experimentación, ya que la presencia de ciertos cationes como fosfatos y cloruros afectan a los procesos de descontaminación de aguas llevados a cabo (procesos de Fenton y foto-Fenton solar).

Analizadores de carbono orgánico total (TOC)

Este equipo permite determinar el carbono y el nitrógeno disueltos. En el laboratorio es usado para la determinación de carbono orgánico e inorgánico y nitrógeno disuelto en muestras líquidas de aguas residuales para evaluar su depuración cuando se le aplica un tratamiento oxidativo.

Analizador de la demanda biológica de oxígeno (DBO)

La demanda biológica de oxígeno (DBO mg O₂ /L) determina los requerimientos relativos de oxígeno de aguas residuales efluentes y aguas contaminadas para su degradación biológica. Esta medida expresa el grado de contaminación de una agua residual por materia orgánica potencialmente biodegradable bajo condiciones aeróbicas. Se emplea para controlar la mejora de la biodegradabilidad de efluentes tóxicos tratados con procesos fotocatalíticos.

Analizador de la demanda química de oxígeno (DQO)

Se emplea para estimar la cantidad de materia orgánica presente y su estado de oxidación. La combinación de esta medida con la DBO y el TOC permite una buena caracterización global de la calidad de un agua residual

Simulador solar Suntest CPS+ de Atlas

Este dispositivo simula el espectro solar, permitiendo la experimentación a escala de laboratorio, haciéndose fundamental en pruebas iniciales previas a la escala piloto.

Plantas piloto

Contamos con cuatro plantas piloto para el tratamiento de aguas contaminadas empleando el proceso foto-Fenton (generalmente). Operan con irradiación solar directa y cuentan con radiómetros para registrar la radiación incidente en cada caso.

Planta piloto para la evaluación del reúso en riego de las aguas regeneradas mediante tratamientos fotocatalíticos solares

La planta está cubierta con un protector anti-plagas de 20x10 mm, y dispone de doce macetas o contenedores con una mezcla de fibra de coco y turba como sustrato, donde se realizan los ensayos. Está dotada de dos sistemas de riego automatizados independientes.

Reactores biológicos

Se emplean para simular los distintos procesos biológicos de depuración de aguas

- De membrana Plana(MBR)
- De fibra hueca(MBR)
- Reactor biológico batch (SBR)
- Reactor biológico de membrana SiClaro® 8PE de Martin Systems AG

**TripleTOF™ 5600+
(nueva adquisición)**

El sistema TripleTOF™ 5600+ de AB SCIEX, trae consigo un significativo avance en LC-MS-MS. Integra en un solo equipo una exploración cualitativa, y una cuantificación de alta resolución de analitos en baja concentración en matrices complejas. Combina la más alta sensibilidad de detección, una elevada resolución, una velocidad de obtención de datos al menos 5 veces superior a cualquier otro instrumento, y una exactitud de masas estable (~1 ppm) a largo plazo.

3.3. INSTALACIONES E INFRAESTRUCTURAS DEL AREA DE APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE LA ENERGÍA SOLAR

Sistema de refrigeración y calefacción solar.

El edificio CIESOL es uno de los cinco C-Ddl (contenedor demostrador de investigación) del Proyecto Singular Estratégico sobre Arquitectura Bioclimática y Frío Solar (PSE-ARFRISOL). Dicho proyecto tenía como el objetivo principal demostrar que se es posible ahorrar de un 80 a un 90% de energía convencional a través de la correcta aplicación de las tecnologías solares activas y pasivas, adaptando el diseño del edificio al entorno y climatología. Con este objetivo en el edificio CIESOL en el año 2006 se instaló un sistema de refrigeración y calefacción solar. Dicho sistema consta fundamentalmente de un campo de captadores planos, una máquina de absorción, una torre de refrigeración, un sistema alternativo de disipación de calor utilizando agua de subsuelo, dos tanques de almacenamiento térmico, un sistema de apoyo y dos tanques de agua fría (figura 3.3.1). La instalación abastece la demanda de refrigeración y calefacción del edificio CIESOL y sirve como el banco de ensayos para las investigaciones.

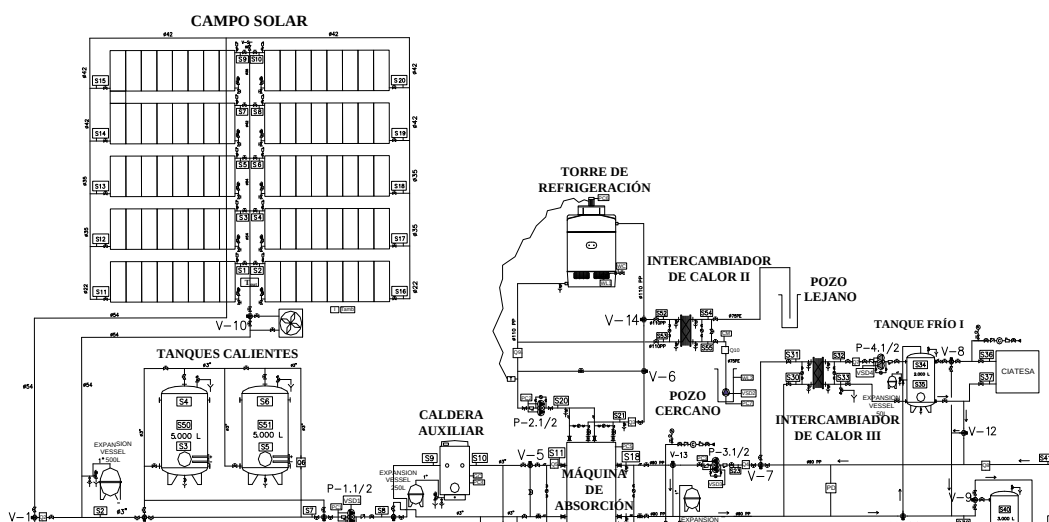


Figura. 3.3.1. El esquema general del sistema de refrigeración y calefacción solar.

A continuación se presentarán los parámetros más importantes del mencionado sistema registrados durante el año 2014. Figura 3.3.2 ilustra las energías aportada en el sistema de frío y calefacción solar a lo largo del año 2014 por el campo solar y la caldera auxiliar, siendo estas del orden de 50.4 MWh y 126 kWh, respectivamente y la energía recibida en el generador de la máquina de absorción, siendo del orden de 12.7 MWh. Durante el año 2014 se registró un consumo de unos 126 m³ del gas natural en la caldera auxiliar. La figura 3.3.3 ilustra el perfil del mencionado consumo. Adicionalmente se registró un consumo de agua tratada por parte de la torre de refrigeración del orden de unos 14 m³, cuyo perfil se puede apreciar en la figura 3.3.4.

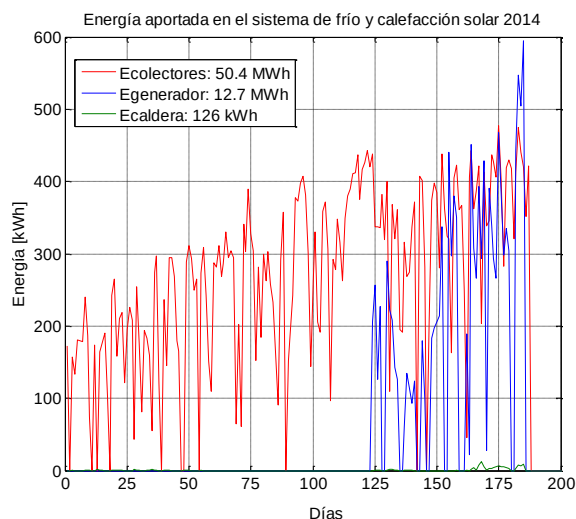


Figura 3.3.2. Energía aportada en el sistema de refrigeración y calefacción solar durante el año 2014.

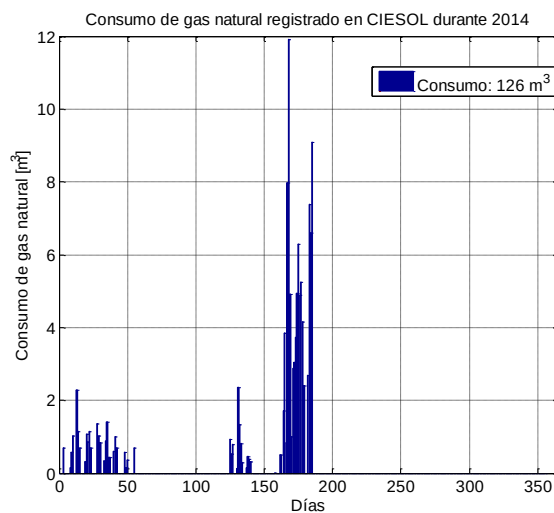


Figura. 3.3.3. El consumo de gas natural registrado en el edificio CIESOL durante el año 2014.

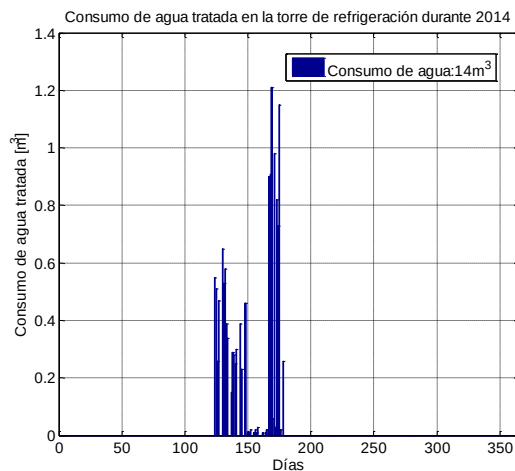


Figura 3.3.4. El consumo de agua tratada en la torre de refrigeración registrado en el edificio CIESOL durante el año 2014.

A continuación se presenta el consumo eléctrico de todos los equipos más importantes del sistema de refrigeración y calefacción solar registrado durante 2014 (figura 3.3.5).

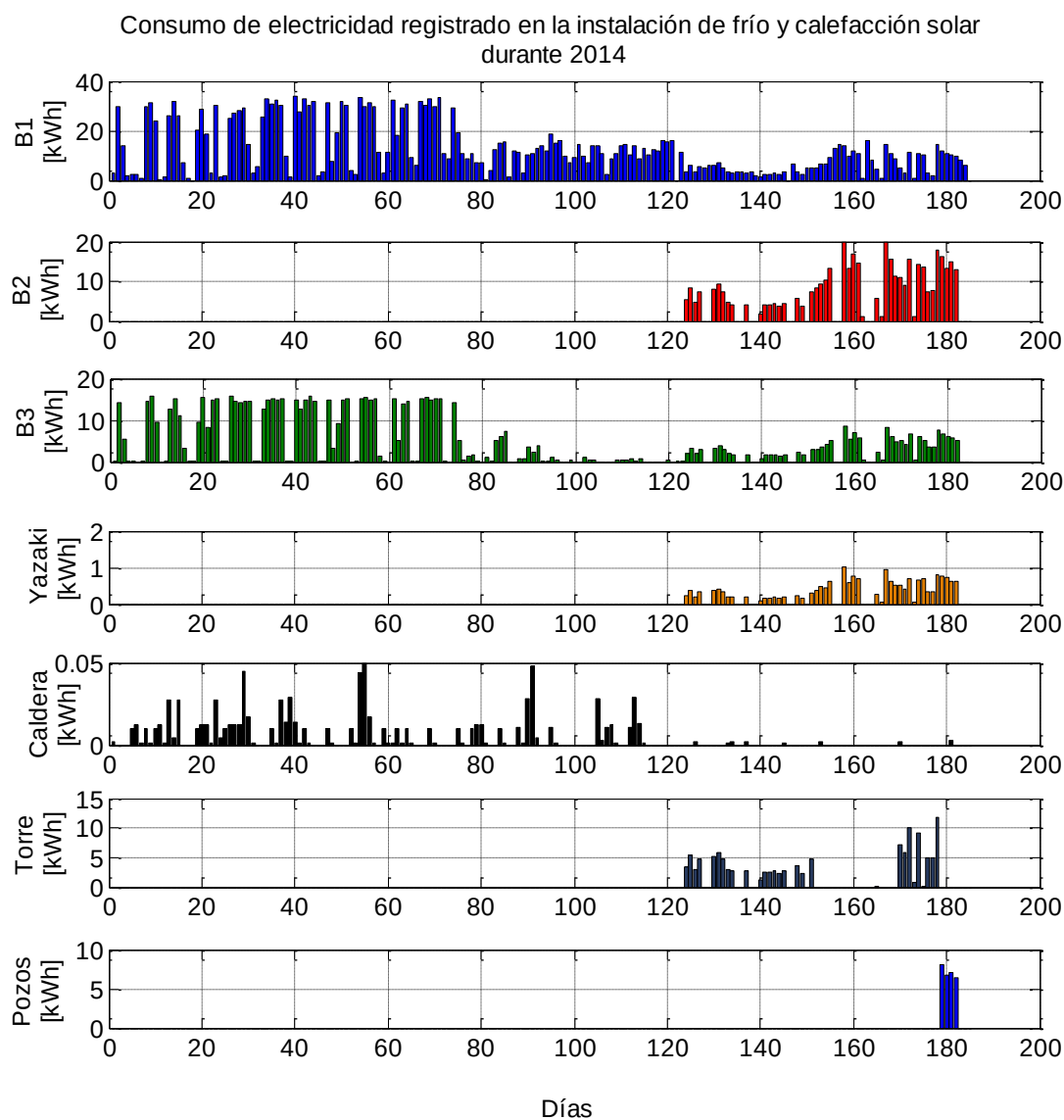


Figura 3.3.5. El consumo eléctrico de los equipos más importantes del sistema de refrigeración y calefacción registrado en el edificio CIESOL durante el año 2014.

La figura 3.3.6 muestra el consumo eléctrico de todos los equipos más importantes del sistema de refrigeración y calefacción solar registrado durante el año 2014, siendo el total del orden de 3.8 MWh.

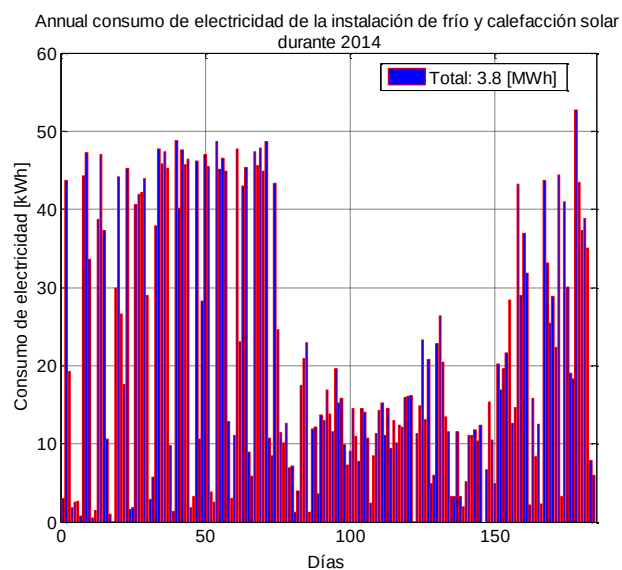


Figura 3.3.6. El consumo eléctrico registrado en el sistema de refrigeración y calefacción solar registrado en el edificio CIESOL durante el año 2014.

Garita meteorológica

Desde 2007, el CIESOL cuenta con una estación meteorológica ubicada en la azotea del edificio. La figura 3.3.7 muestra los sensores instalados en la garita meteorológica. Se dispone de un seguidor solar (2AP Kipp&Zonen) sobre cual están instalados los sensores de medida de radiación solar global, directa y difusa respectivamente. En la mencionada estación se miden también otras variables meteorológicas genéricas, tales como temperatura, velocidad y dirección de viento, humedad, CO₂ y presión atmosférica.

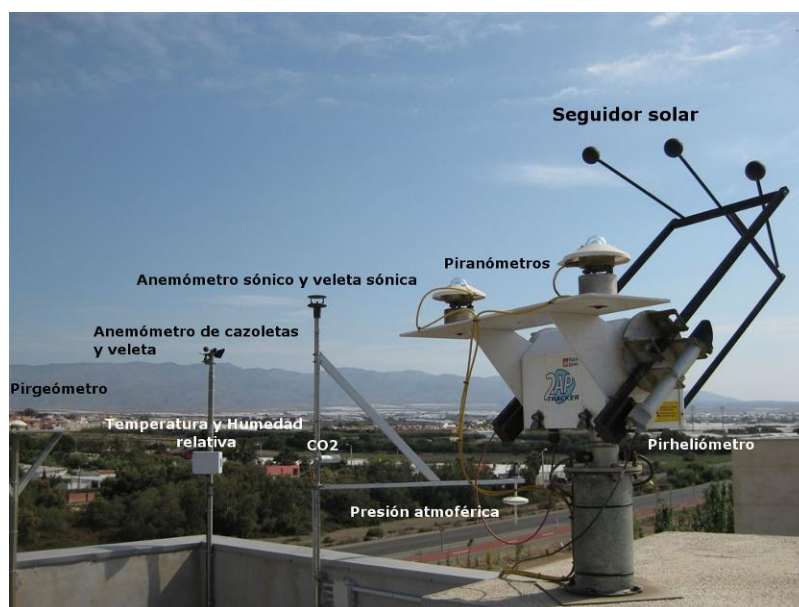


Figura 3.3.7. Garita meteorológica.

Durante el año 2014 en la azotea del edificio CIESOL se instalaron los siguientes equipos (Figura 3.3.8):

- Estructura metálica suplementaria instalada en la segunda terraza del edificio CIESOL.
- Ceilómetro VAISALA CL-51. Proporciona información de las nubes y visibilidad vertical.
- Cámara de cielo ASTMON (All Sky Transmission MONitor), modelo CODE (CLOud DEtector). Proporciona imágenes del cielo en tiempo real.
- Cámara de cielo de bajo coste MOBOTIX Q24. Proporciona imágenes del cielo en tiempo real.



Figura 3.3.8. Estructura metálica instalada en la azotea del edificio CIESOL conjuntamente con el ceilómetro VAISALA CL-51 (izquierda), cámara de cielo ASTMON (centro), cámara de cielo MOBOTIX Q24 (derecha).

A continuación se presentan los datos anuales de más importantes variables meteorológicas registradas durante el año 2014. Figura 3.3.9 ilustra los datos de la radiación global y difusa sobre superficie inclinada y también datos de la radiación directa registrados en la garita del edificio CIESOL. Figura 3.3.10 presenta los promedios de la temperatura ambiente y la figura 3.3.11 los promedios de la humedad registrados en el edificio CIESOL.

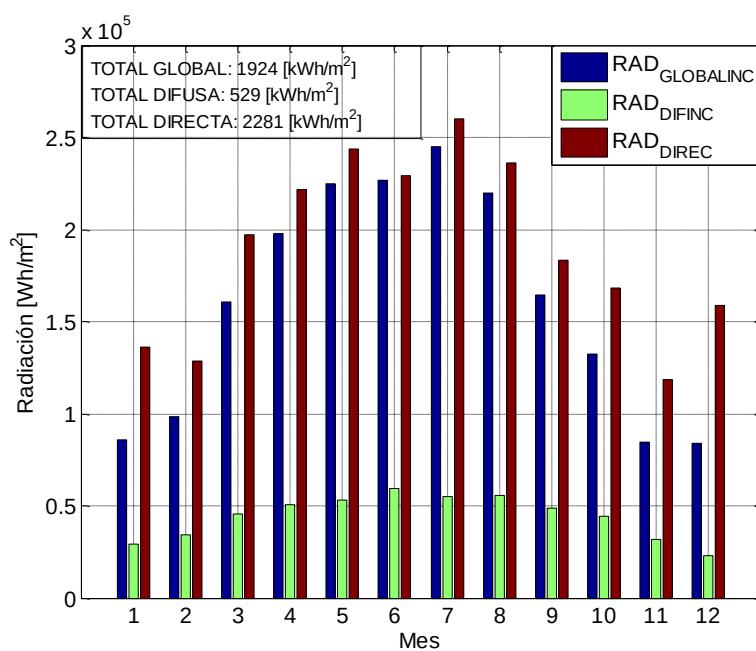


Figura 3.3.9. Datos de radiación registrados en el edificio CIESOL durante 2014.

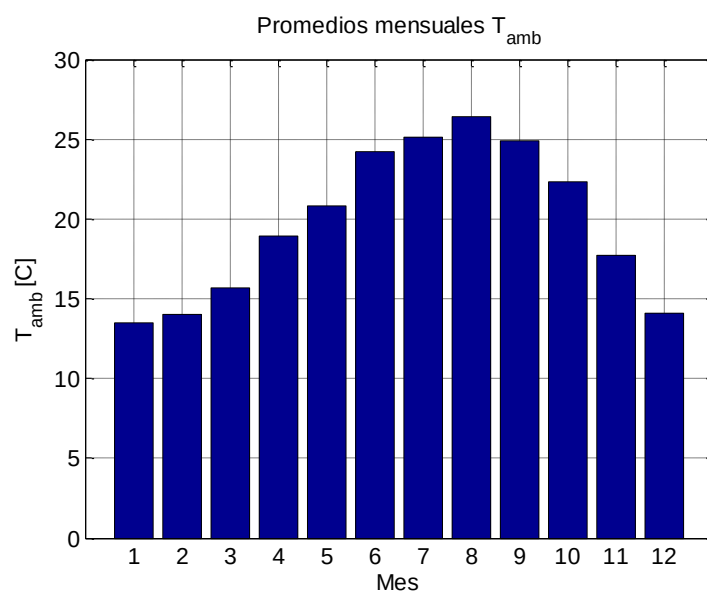


Figura 3.3.10. Promedios mensuales de la temperatura ambiente registrados en el edificio CIESOL durante 2014.

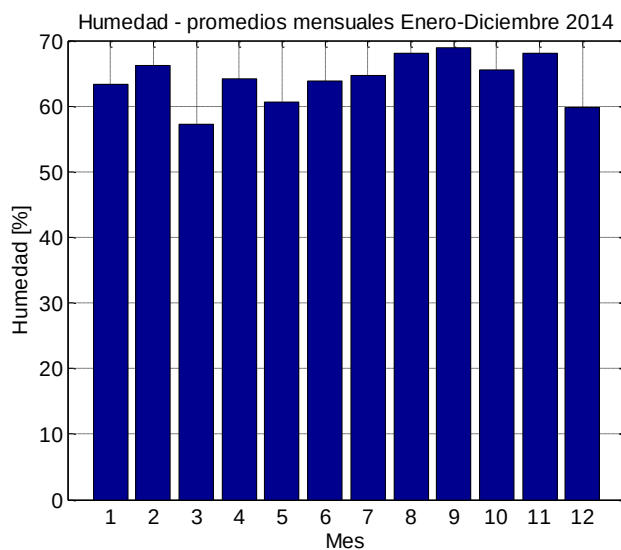


Figura 3.3.11. Promedios mensuales de la humedad registrados en el edificio CIESOL durante 2014.

Instalación fotovoltaica

Desde el Septiembre del año 2009, el edificio CIESOL cuenta con una instalación fotovoltaica que consiste en un total de 42 módulos, asociados en 3 series de 14 paneles/serie, con una potencia unitaria de 222 Wp/panel, configurando un campo fotovoltaico de 9,324 kWp conectado a tres inversores de 2500 W de potencia nominal. En la figura 3.3.12 se muestra el esquema general de la instalación fotovoltaica.

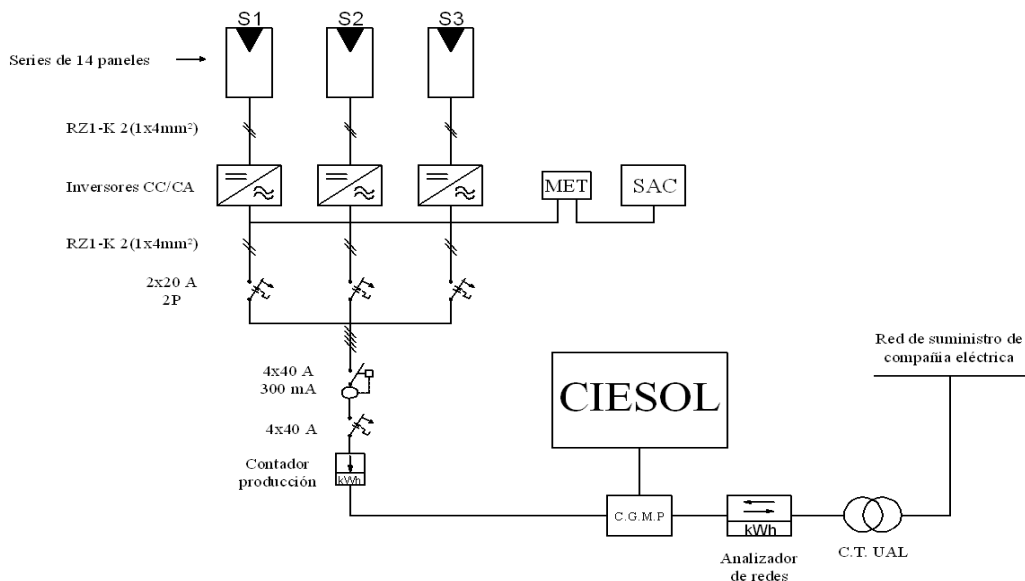


Figura 3.3.12. El esquema general de la instalación fotovoltaica.

Figura 3.3.13 muestra la producción mensual del sistema fotovoltaico instalado en el edificio CIESOL durante el año 2014 con un total del orden de 12.5 MWh. La siguiente figura presenta los promedios mensuales de la energía producida por mencionado sistema.

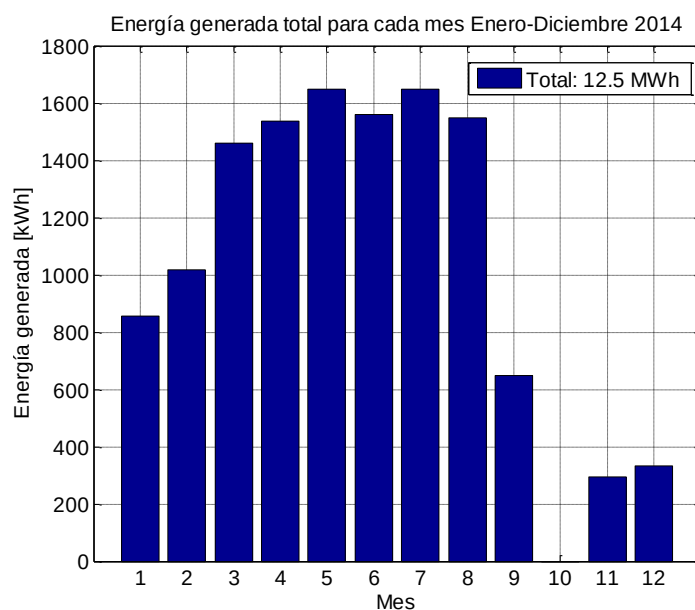


Figura 3.3.13. Energía generada durante el año 2014.

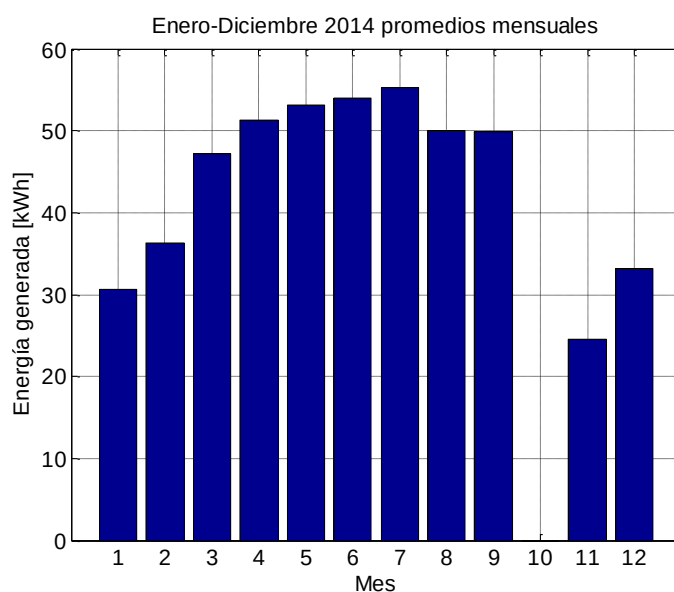


Figura 3.3.14. Energía generada durante el año 2014: promedios mensuales.

Sistema de monitorización del edificio CIESOL

El edificio CIESOL cuenta con un amplio sistema de monitorización diseñado para demostrar el cumplimiento de los objetivos del proyecto ARFRISOL. Actualmente el sistema de monitorización del edificio cuenta con 348 canales, correspondientes al conjunto de sensores instalado a lo largo de la vida del proyecto. Se dispone de una herramienta de adquisición, enfocada a almacenar datos por minuto de los sistemas hardware de National Instruments, en archivos diarios. Dicha herramienta cuenta con la posibilidad de configurar los canales mediante la manipulación de un archivo de configuración, lo que permite escalarla según las necesidades de futuras ampliaciones del sistema. Figura 3.3.15 presenta una de las pantallas de control desarrollada para la monitorización de la temperatura ambiente y el consumo

eléctrico de todas las dependencias del edificio CIESOL. Figura 3.3.16 muestra otra pantalla relacionada con la monitorización de la fachada ventilada del edificio CIESOL.

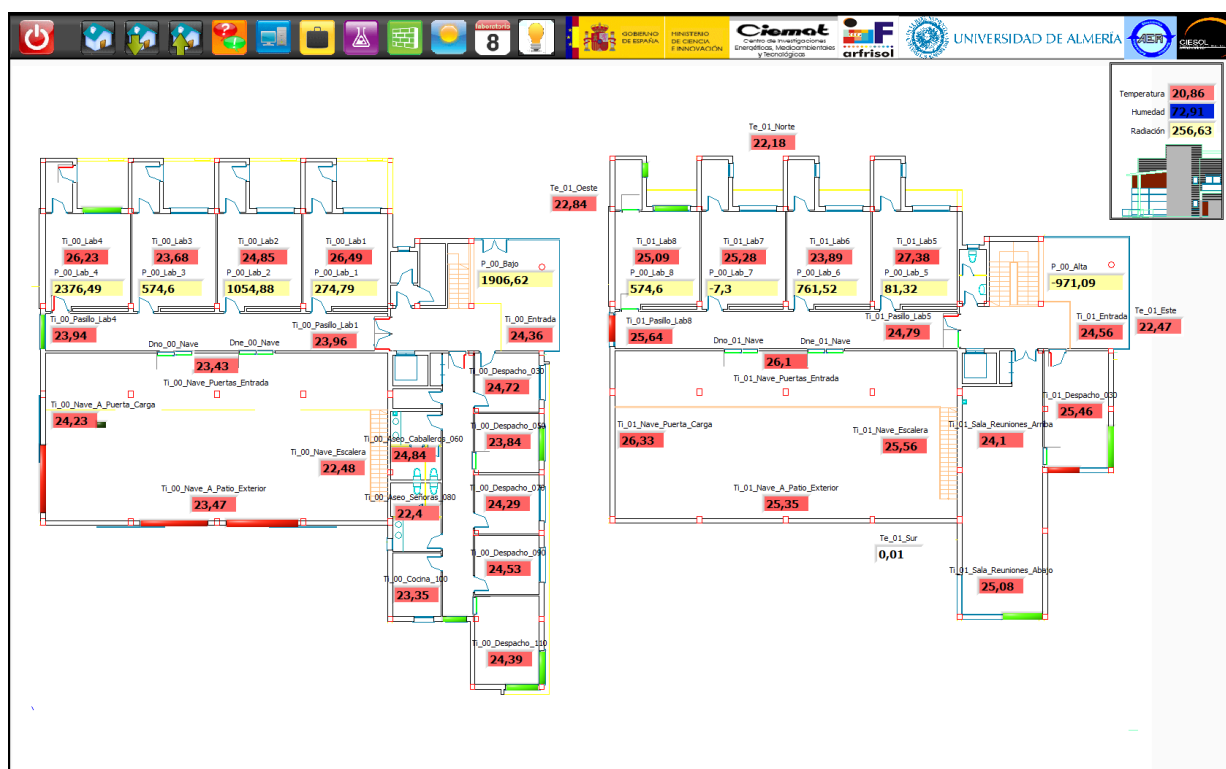


Figura 3.3.15. Pantalla de control de temperatura ambiente y el consumo eléctrico de todas las dependencias del edificio CIESOL.

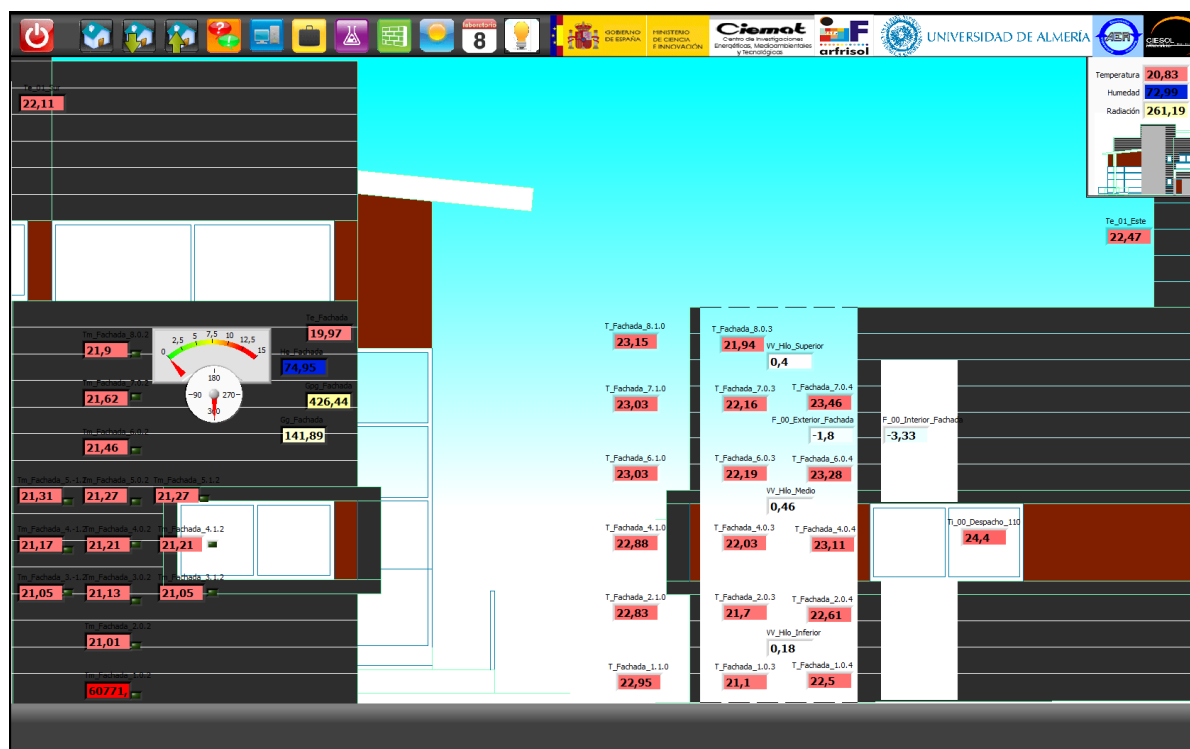


Figura 3.3.16. Pantalla de control de temperatura interior y exterior de la fachada ventilada del edificio CIESOL.

A continuación se presentará el consumo eléctrico registrado mediante el sistema de monitorización y adquisición anteriormente descrito. Figura 3.3.17 muestra el consumo eléctrico diario de todos los laboratorios y despachos del edificio CIESOL medido durante 2014. Como se puede observar el consumo anual diario es del orden de los 26.7 MWh, mientras que el consumo anual nocturno es del orden de los 8.1 MWh. Figura 3.3.18 ilustra el consumo eléctrico de los 8 laboratorios del edificio CIESOL y la suma de los consumos de los 5 despachos de la planta baja y finalmente la suma del consumo eléctrico del salón de actos y del despacho de director.

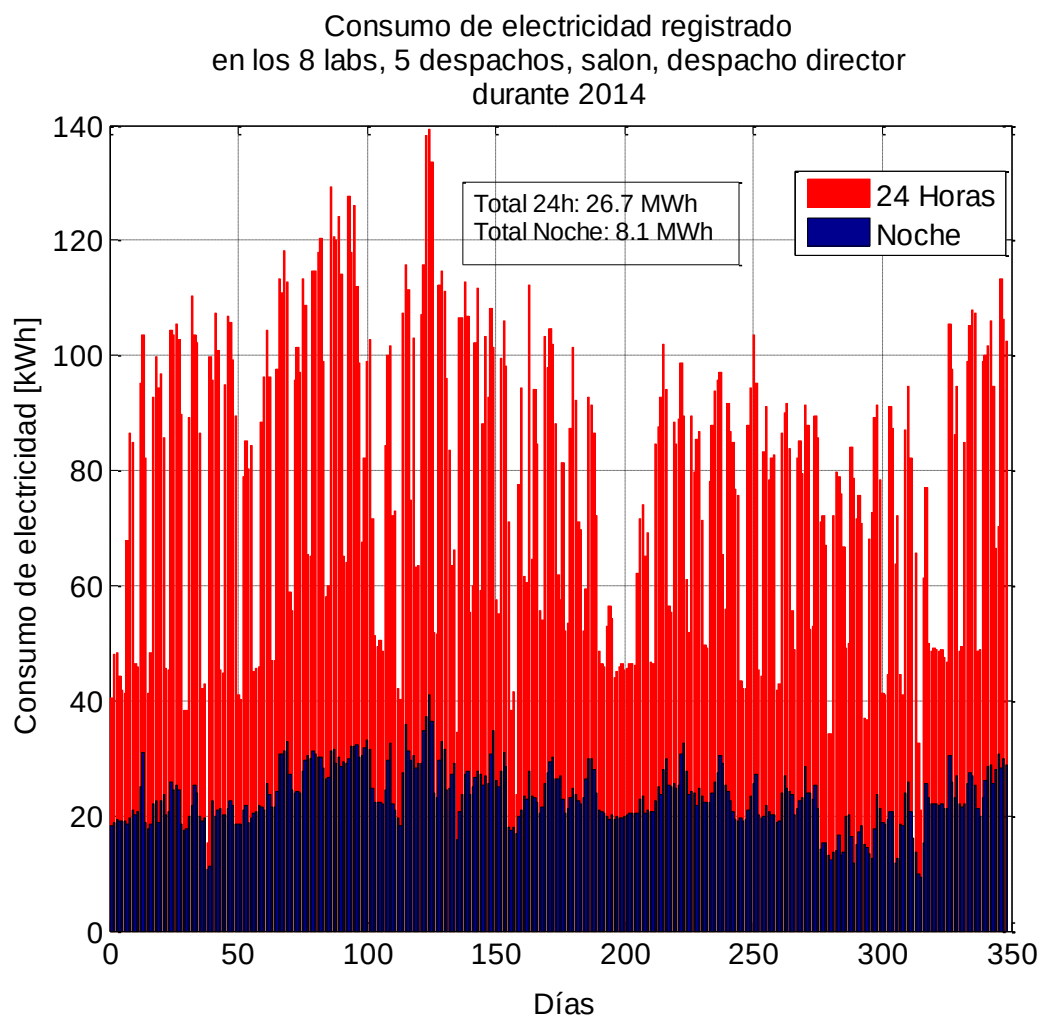


Figura 3.3.17. Consumo eléctrico total de todos los laboratorios y despachos del edificio CIESOL medido durante el año 2014.

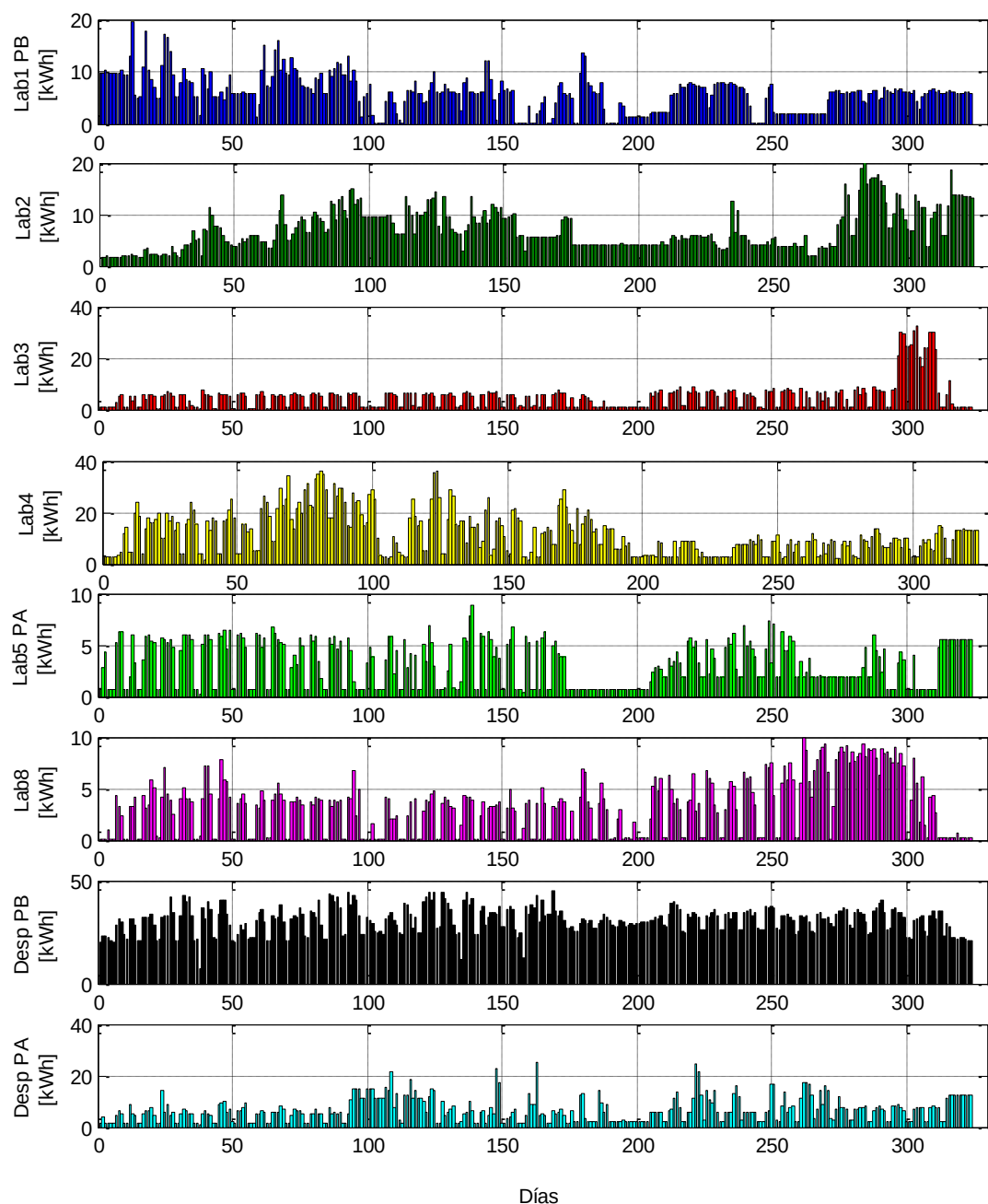


Figura 3.3.18. Consumo eléctrico de los laboratorios y despachos del edificio CIESOL medido durante el año 2014.

Figura 3.3.19 presenta el balance energético del edificio CIESOL registrado durante el año 2014. Como se puede observar la energía generada por el sistema fotovoltaico (12.5 MWh) es suficiente para cubrir la demanda de electricidad del sistema de refrigeración y calefacción solar (desde enero hasta mediados de julio), siendo este del orden de 4.1 MWh.

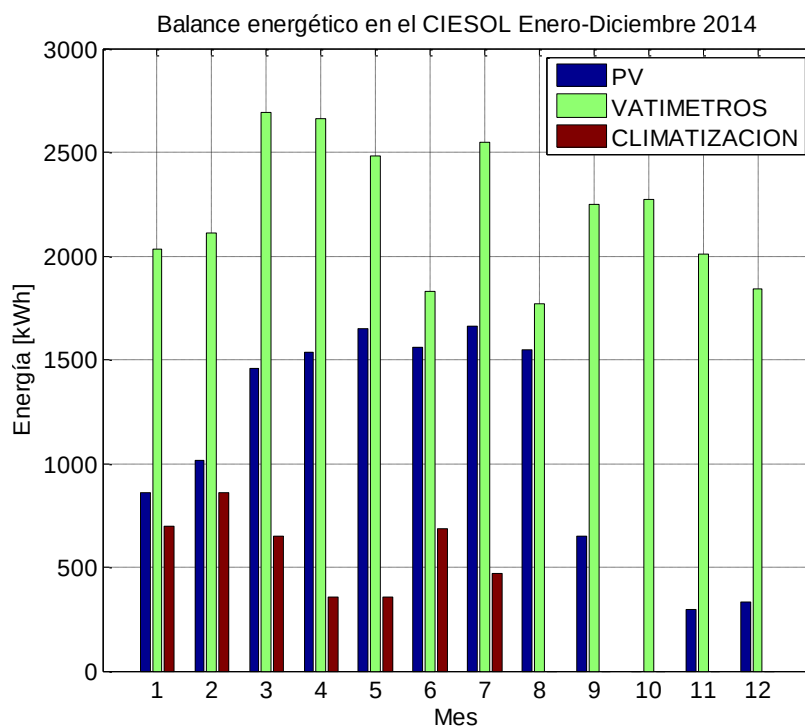


Figura 3.3.19. El balance energético del edificio CIESOL medido durante el año 2014.

3.4 CAPACIDADES TÉCNICAS DEL CENTRO

El Centro de Investigaciones de la Energía Solar (CIESOL) dispone diversas capacidades técnicas fruto de su equipamiento y personal investigador. Dichas capacidades se reflejan a continuación:

3.4.1. Capacidades del área de aprovechamiento químico de la energía solar.

Técnicas analíticas:

- Termogravimetría
- Calorimetría Diferencial de Barrido
- Espectrometría
- Análisis Elemental y Molecular de Sólidos y Líquidos
- Análisis de aguas (iónico, UPLC, TOC-TN, DQO, DBO)

Diseño y evaluación de procesos:

- Biodegradabilidad de aguas contaminadas
- Diseño de procesos de descontaminación de aguas
- Estudios de viabilidad de tratamientos de agua (tratamientos terciarios y aguas industriales tóxicas) mediante membranas, biotratamiento y oxidación avanzada (ozono, UV/H₂O₂, Fenton, foto-Fenton)
- Evaluación de contaminación en aguas naturales y residuales.
- Evaluación de comportamientos de contaminantes en medio ambiente (hidrolisis, fotolisis...).
- Análisis de contaminantes orgánicos a niveles traza mediante espectrometría de masas (GC-MS, LS-MS)

3.4.2. Capacidades del área de aprovechamiento energético de la energía solar.

Recursos Solares:

- Evaluación y predicción del recurso solar.
- Generación de mapas solares de alta resolución.

Instalaciones Energéticas:

- Diseño y asistencia técnica en plantas de refrigeración y calefacción solar y agua caliente sanitaria.
- Estudios de viabilidad de aprovechamiento de energía solar en las aplicaciones residenciales e industriales.
- Monitorización y control avanzado de sistemas solares térmicos.
- Monitorización y control avanzado de instalaciones energéticas en edificios.
- Simulación dinámica y optimización de instalaciones energéticas.
- Predicción del rendimiento global y consumo eléctrico de sistemas térmicos.
- Asistencia técnica en elaboración de alertas y mantenimiento preventivo de sistemas térmicos.

- Consultoría de eficiencia energética.

Laboratorios:

- Ensayos climáticos de captadores solares térmicos y fotovoltaicos.
- Laboratorio de ensayo de componentes de sistemas de refrigeración y calefacción solar.

4. COMITÉS Y RESPONSABLES DE ACTIVIDADES.**4.1 DIRECCIÓN DEL CENTRO**

Director	Sixto Malato Investigador de O.P.I. CIEMAT sixto.malato@psa.es
Subdirector	Manuel Pérez Profesor Titular de la Universidad de Almería mperez@ual.es

4.2 RESPONSABLES DE ACTIVIDADES

Actividad	Universidad de Almería (UAL)	Plataforma Solar de Almería (PSA)
Organometálica y Fotoquímica	Antonio Romerosa Catedrático de la UAL romerosa@ual.es	Christoph Richter Investigador de DLR en la PSA christoph.richter@dlr.de
Análisis Ambiental	Ana Agüera Catedrático de la UAL aaguera@ual.es	Isabel Oller Investigador de O.P.I. CIEMAT isabel.oller@psa.es
Regeneración de Aguas	José A. Sánchez Catedrático de la UAL jsanchez@ual.es	Manuel I. Maldonado Investigador de O.P.I. CIEMAT mignacio.maldonado@psa.es
Modelado y Control Automático	Manuel Berenguel Catedrático la UAL beren@ual.es	Luis Yebra Investigador de O.P.I. CIEMAT luis.yebra@psa.es
Desalación y Fotosíntesis	Jose M. Fernández Profesor Titular de la UAL jfernand@ual.es	Dr. Guillermo Zaragoza Investigador de O.P.I. CIEMAT guillermo.zaragoza@psa.es
Frio Solar	Javier Batlles Profesor Titular de la UAL fbatlles@ual.es	

4.3 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

Sixto Malato (Director de la Plataforma Solar de Almería, CIEMAT)

sixto.malato@psa.es

Eduardo Zarza (Profesor de Investigación de CIEMAT)

eduardo.zarza@psa.es

4.4 COMITÉ CIENTÍFICO

Sebastián Dormido

sdormido@dia.uned.es

Catedrático de Informática y Automática de la UNED

María Luisa Castaño

mluisa.castano@micinn.es

Directora General de Innovación y Competitividad.

dgic@mineco.es

MINECO-Gobierno de España.

Rafael van Grieten

rafael.vangrieken@urjc.es

Catedrático de Ingeniería Química y Director de ANECA

(Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación)

David Serrano

david.serrano@imdea.org

Catedrático de Ingeniería Química y Director de IMDEA-Energía