

## TECNOLOGÍAS SOLARES PARA EL TRATAMIENTO, REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES URBANAS Y VALORIZACIÓN DE RECURSOS EXTRAÍDOS

LA CRECIENTE ESCASEZ DE AGUA LIMPIA Y SEGURA ES UN SERIO PROBLEMA A NIVEL MUNDIAL Y PARTICULARMENTE EN ZONAS ÁRIDAS Y SEMI-ÁRIDAS. ES NECESARIO CONTINUAR CON LOS ESFUERZOS EN INVESTIGACIÓN CON EL OBJETO DE IDENTIFICAR NUEVOS MÉTODOS DE TRATAMIENTO DE AGUA Y ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES QUE SUPONGAN UNA REDUCCIÓN EN LOS COSTES Y EN EL CONSUMO ENERGÉTICO, AL IGUAL QUE UNA MINIMIZACIÓN EN EL USO DE REACTIVOS QUÍMICOS. LOS TRATAMIENTOS CONVENCIONALES PARA LA DESCONTAMINACIÓN Y DESINFECCIÓN DE AGUA NORMALMENTE SON MUY COSTOSOS DESDE EL PUNTO DE VISTA QUÍMICO, ENERGÉTICO Y DE OPERACIÓN.

Los Procesos Avanzados de Oxidación (PAO) son un grupo de procesos donde se promueve la generación de radicales hidroxilo que degradan la mayoría de las moléculas orgánicas, y por tanto los contaminantes, que mayoritariamente son compuestos orgánicos. Dentro de estos procesos se encuentran la fotocatalisis heterogénea y la fotocatalisis homogénea mediante foto-Fenton, éstos se basan en el uso de semiconductores y la adición de peróxido de hidrógeno a sales de hierro, respectivamente, así como la irradiación de dichos sistemas con luz UV-Vis. Ambos procesos ofrecen un especial interés ya que puede usarse la luz solar como fuente de radiación UV, con la consiguiente reducción en los costes de operación.

Para llevar a cabo los PAO basados en fotocatalisis solar se requiere el uso de foto-reactores. Los más empleados para estas aplicaciones son los denominados captadores parabólicos compuestos (CPC), figura 1, que son sistemas estáticos no concentradores. Este diseño es ventajoso ya que se consiguen reactores estacionarios con ópticas que proporcionan la mayor eficiencia en captación de radiación directa y difusa sin necesidad de seguimiento solar. El foto-reactor al ser tubular proporcionan un flujo turbulento favoreciendo la mezcla homogénea, y al ser sistemas cerrados no tienen pérdidas de compuestos volátiles. Por tanto, su mantenimiento es sencillo y barato, además de que son fácilmente escalables.

Los PAO se han empleado con gran éxito en el tratamiento de aguas conteniendo diferentes tipos de contaminantes. Reciente-

## SOLAR TECHNOLOGIES FOR URBAN WASTEWATER TREATMENT, REUSE, AND RECOVERY OF EXTRACTED RESOURCES

AN INCREASING SCARCITY OF CLEAN, SAFE WATER IS A SERIOUS WORLDWIDE PROBLEM, PARTICULARLY IN ARID AND SEMI-ARID AREAS. ONGOING RESEARCH IS NEEDED TO IDENTIFY NEW WATER TREATMENT METHODS FOR THE REMOVAL OF POLLUTANTS TO ACHIEVE REDUCTIONS IN COSTS, ENERGY CONSUMPTION AND THE USE OF CHEMICAL PRODUCTS. CONVENTIONAL WATER DECONTAMINATION AND DISINFECTION TREATMENTS ARE GENERALLY VERY EXPENSIVE IN TERMS OF CHEMICALS, ENERGY AND OPERATING COSTS.

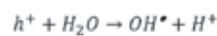
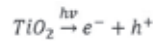
Advanced oxidation processes (AOPs) promote the generation of hydroxyl radicals that degrade the majority of organic molecules, and, therefore, pollutants, most of which are organic compounds. These processes include heterogeneous photocatalysis and homogenous photocatalysis by means of photo-Fenton type processes. These processes are based on the use of semiconductors and the addition of hydrogen peroxide to iron salts, respectively, as well as the irradiation of these systems with UV-Vis light. Both processes are of particular interest because solar light can be used as a source of UV radiation, with consequent reductions in operating costs.

The use of photo-reactors is required to carry out photocatalysis-based AOPs. The most commonly implemented photo-reactors for these applications are those known as compound parabolic collectors (CPC), (Figure 1), which are static non-concentrating systems. This design is advantageous in that it results in stationary reactors with an optic that provide the greatest efficiency to collect direct and diffuse radiation, without the need for solar

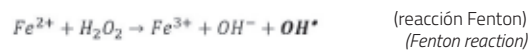
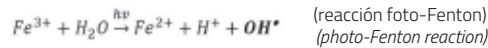
tracking. Because the photo-reactor is tubular, it provides a turbulent flow that favours homogenous mixing, and because these are enclosed systems, there are no volatile compound losses. As a result, maintenance is cheap and easy, and these systems can be easily scaled.

AOPs have been implemented with great success to treat water containing different types of pollutants. Recently, the

so called "Emerging Contaminants" are receiving special attention (Directive 2013/39/EC), these



Fotocatalisis Heterogénea con TiO<sub>2</sub>  
Heterogeneous Photocatalysis with TiO<sub>2</sub>



Fotocatalisis Homogénea, sistema foto-Fenton  
Homogeneous Photocatalysis, photo-Fenton system

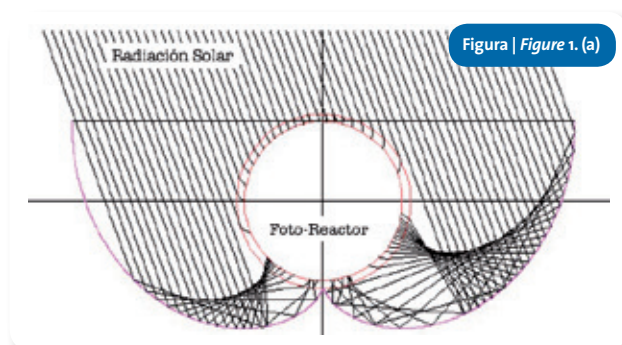


Figura | Figure 1. (a)



Figura | Figure 1. (b)

Figura 1. (a) Esquema de la geometría de un CPC, (b) detalle de un reactor CPC.  
Figure 1. (a) Schematic diagram of CPC geometry, (b) detailed view of CPC reactor

mente, se está prestando una atención especial a los llamados "Contaminantes Emergentes" (Directiva 2013/39/CE), que son compuestos no regulados, candidatos a una futura regulación dependiendo de los efectos potencialmente dañinos que sobre la salud presentan, así como de su frecuencia en el medioambiente (productos farmacéuticos, antibióticos, analgésicos, esteroides, hormonas, cianotoxinas, etc.). Además de la eliminación de contaminantes orgánicos, se investiga en la aplicación de los reactores CPC para su uso en desinfección de agua mediante diferentes procesos fotocatalíticos.

La Unidad de Tratamiento Solares de Agua (TSA) de la Plataforma Solar de Almería ([www.psa.es](http://www.psa.es)), perteneciente al CIEMAT, investiga y desarrolla procesos basados en la utilización de la radiación solar con los que llevar a cabo procesos fotoquímicos a temperatura ambiente. El objetivo fundamental de la unidad TSA se divide en cinco áreas: 1) Evaluación de nuevos fotocatalizadores, 2) Tratamientos de aguas residuales industriales, 3) Eliminación de micro-contaminantes, 4) Potabilización y desinfección de aguas, y 5) Producción de hidrógeno. Actualmente la unidad TSA dirige y participa en un total de 8 proyectos (5 nacionales y 3 europeos) dedicados al tratamiento, desinfección y reutilización del agua residual urbana e industrial.

### Tecnologías eficientes para la eliminación de contaminantes emergentes

El proyecto Triceratops (01.01.2016 – 31.12.2018) (<http://www.psa.es/es/projects/triceratops/>) pretende aplicar tecnologías eficientes para la eliminación de microcontaminantes contenidos en las Directivas 2013/39/CE y 2008/105/CE. La estrategia para abordar este objetivo se enfoca en diferentes aspectos como son los intermediarios de reacción, estudios mecanísticos, análisis de detoxificación de los efluentes, valorización de residuos extraídos de aguas residuales para ser acoplados a la depuración de aguas, empleo de membranas acopladas con procesos foto-redox y la construcción de fotoreactores solares y basados en LEDs. Un ejemplo de los resultados que se han obtenido es el tratamiento mediante foto-Fenton solar de agua contaminada con plaguicida (imidacloprid) usando agua residual de cocido de corcho (figura 2). El objetivo aquí es valorizar el contenido en polifenoles de aguas residuales de diferentes fuentes, en este caso aguas provenientes del cocido de corcho, para usarlas como aditivo en el tratamiento solar de otras aguas residuales tóxicas.

### Nuevas tecnologías de tratamiento de aguas y su reutilización en agricultura

El proyecto Water4Food (01.01.2016 – 31.12.2018) aborda el desarrollo de procesos medioambientalmente sostenibles y novedosos para el tratamiento de agua residual en la industria de alimentos de cuarta gama con objeto de reducir su huella hídrica. Este tipo de industria alimentaria produce principalmente hortalizas, frutas y verduras lavadas, troceadas y envasadas en atmósferas protectoras, listas para su consumo y, por esta razón, se requiere un control estricto de la calidad microbiológica del agua de lavado de estos vegetales. Actualmente, la cloración es el principal método de control microbiológico utilizado durante el proceso de lavado, no obstante, este proceso está empezando a ser reemplazado dada la generación de derivados potencialmente cancerígenos que se generan por reacciones de cloro con materia orgánica. Por ello, se pretende integrar nuevos procesos de desinfección y descontaminación de agua en la industria de IV gama, que permitan a su vez su posible reutilización para otras actividades como el riego en agricultura. Un ejemplo de los resultados que se están obteniendo en este proyecto es la inactivación efectiva de las bacterias *Escherichiacoli* (O157:H7) y *Salmonella enteritidis* (figura 3) en agua residual simulada de IV gama, con el fin de su reutilización como agua de riego en cultivos de lechuga y rábano.

substances are currently not regulated but are candidates for future regulation depending on the potentially harmful effects they may have on health, as well as the frequency with which they can be found in the environment (pharmaceutical products, antibiotics, painkillers, steroids, hormones, cyanotoxins, etc.). In addition to the removal of organic pollutants, research is being carried out into the implementation of CPC reactors in the disinfection of water through different photocatalytic processes.

The Solar Treatment of Water Unit (TSA Unit) of the Plataforma Solar de Almería ([www.psa.es](http://www.psa.es)) belongs to the Spanish Research Centre for Energy, Environment and Technology (CIEMAT). The TSA Unit researches and develops processes based on the use of solar radiation to carry out photochemical processes at ambient temperature. The main mission of the TSA Unit is divided into five areas: 1) Evaluation of new photocatalysts, 2) Industrial wastewater treatment, 3) Removal of micro-contaminants, 4) Water potabilisation and disinfection, and 5) Hydrogen production. The TSA Unit is currently leading and participating in a total of 8 (5 national and 3 European) projects related to the treatment, disinfection and reuse of urban and industrial wastewater.

### Efficient technologies for removal of emerging pollutants

The Triceratops project (01.01.2016 – 31.12.2018) (<http://www.psa.es/es/projects/triceratops/>) seeks to apply efficient technologies for the removal of the micropollutants set out in Directives 2013/39/EC and 2008/105/EC. The strategy to achieve this objective focuses on a number of aspects, including reaction intermediates, mechanistic studies, analysis of effluent detoxification, recovery of waste extracted from wastewater for implementation in water purification processes, use of membranes along with redox-photo processes and the construction of LED-based solar photo-reactors. An example of the results obtained is solar photo-Fenton treatment of pesticide (imidacloprid) polluted water using cork cooking wastewater (Figure 2). The objective here is to recover the polyphenol content of the wastewater from different sources, (in this case, water from cork cooking) in order to use it as an additive in the solar treatment of other toxic wastewaters.

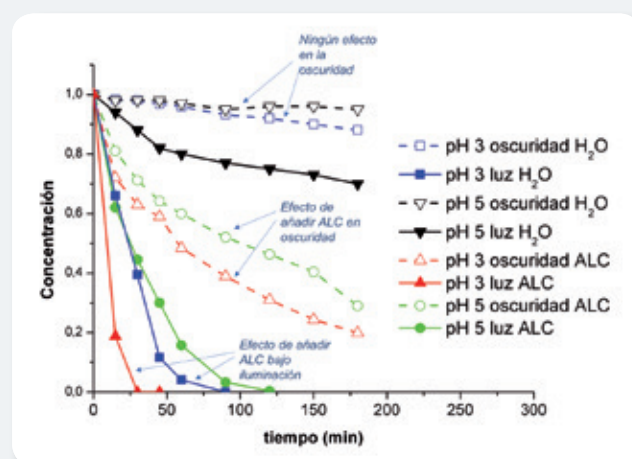
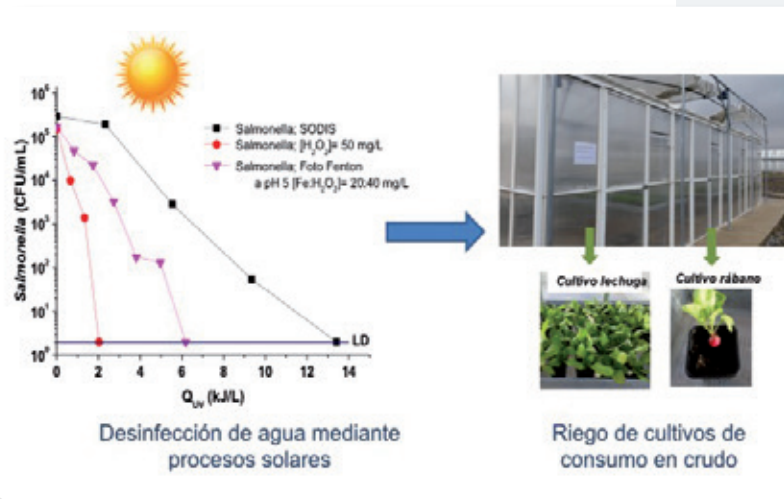


Figura 2. Eliminación del plaguicida Imidacloprid con el sistema foto-fenton y utilizando agua residual con alto contenido en polifenoles. Adaptada de Enhancement of the Fenton and photo-Fenton processes by components found in wastewater from the industrial processing of natural products: The possibilities of cork boiling wastewater reuse. *Chemical Engineering Journal*, 304 (2016) 890–896. | Figure 2. Removal of the pesticide Imidacloprid with the photo-Fenton system, using wastewater with a high polyphenol content. Adapted from Enhancement of the Fenton and photo-Fenton processes by components found in wastewater from the industrial processing of natural products: The possibilities of cork boiling wastewater reuse. *Chemical Engineering Journal*, 304 (2016) 890–896.



**Figura 3.** Inactivación de *Salmonella enteritidis* mediante procesos solares en agua y posterior reúso para riego de vegetales de consumo en crudo. | **Figure 3.** Inactivation of *Salmonella enteritidis* through solar processes on water and subsequent reuse of the water for the irrigation of vegetables for raw consumption

### New technologies for water treatment and reuse of the water in agriculture

The Water4Food Project (01.01.2016 – 31.12.2018) seeks to develop innovative environmentally sustainable processes for the treatment of wastewater in the fourth gamma food products industry, with the aim of reducing water footprint. This food industry mainly produces ready-to-eat fruit and vegetables that are cleaned, sliced and packaged in protective

atmospheres. Therefore, there is a requirement for stringent control of the microbiological quality of the water used to clean these products. Chlorination is currently the main microbial control method used during the cleaning process. However, this process is beginning to be replaced, due to the potentially carcinogenic derivatives generated by reactions of the chlorine with organic matter. The aim, therefore, is to integrate new water disinfection and decontamination processes in the fourth range food product industry, and also enable the reuse of this water for other activities, such as agricultural irrigation. An example of the results obtained in this project is the effective inactivation of *Escherichia coli* (O157:H7) and *Salmonella enteritidis* (Figure 3) in simulated fourth range industry wastewater, with the objective of reusing this water for lettuce and radish irrigation.

### New integrated solar technologies to obtain drinking water for rural communities in developing countries

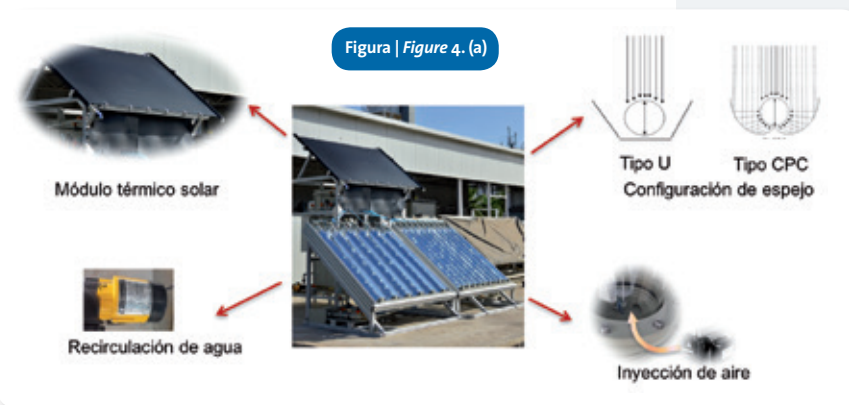
The WaterSpoutt Project (Sustainable Point-of-Use Treatment Technologies, 01.06.2016 – 31.05.2020)(<http://www.waterspoutt.eu/>) is funded by the European H2020 programme within the WATER-5(c)-2015 call for projects. The main objective of the TSA Unit in this project is to develop, build and evaluate prototypes for the solar treatment of rainwater. Different parameters of these prototypes that influence the efficiency of the solar disinfection process are evaluated, including: temperature, injection of air into the water, recirculation of water in the system versus a static system, different photo-reactor materials and diameters, and different solar receiver geometries. The results obtained in the evaluation of the solar

### Nuevas tecnologías solares integradas para la obtención de agua potable en comunidades rurales de países en vías de desarrollo

El proyecto WaterSpoutt (Sustainable Point-of-Use Treatment Technologies, 01.06.2016 – 31.05.2020) (<http://www.waterspoutt.eu/>) está financiado por el programa europeo H2020 dentro de la convocatoria WATER-5(c)-2015. El principal objetivo de la unidad TSA en este proyecto es el desarrollo, construcción y evaluación de prototipos solares para el tratamiento solar de agua de lluvia. En estos prototipos se evalúan diferentes parámetros que influyen en la eficiencia del proceso de desinfección solar, tales como la temperatura, la inyección de aire en el agua, la recirculación del agua en el sistema *versus* sistema estático, diferentes materiales y diámetros de foto-reactor, y diferentes geometrías de receptor solar. El balance obtenido tras la evaluación de la eficiencia de desinfección para alcanzar estándares de calidad de agua de bebida en los prototipos solares y el coste de producción de los mismos determinará el tipo definitivo de reactor solar que se construirá y se integrará con tanques de recogida de agua de lluvia varias comunidades rurales de Uganda y Sudáfrica. El objetivo final es realizar experiencias piloto en comunidades rurales de ambos países, evaluando la eficiencia del reactor para la desinfección de agua de lluvia así como la aceptación social de esta tecnología en las comunidades involucradas en el estudio.

### Acelerando la innovación en el manejo y gestión del agua residual urbana

En el proyecto ALICE (Accelerate Innovation in Urban Wastewater Management for ClimateChange, 01.01.2017 – 31.12.2020), financiado por la Comunidad Europea a través del programa H2020-



**Figura | Figure 4. (a)**



**Figura | Figure 4. (b)**

**Figura 4. (a)** Prototipo de foto-reactor para desinfección solar y potabilización de agua de lluvia, **(b)** Contenedor de recogida de agua de lluvia ubicado en escuela educación primaria en la zona rural de Makondo, Uganda. | **Figure 4. (a)** Photo-reactor prototype for rainwater disinfection and potabilisation, **(b)** Rainwater collection container at primary school in the rural area of Makondo, Uganda.





MSCA-RISE-2016, se pretende consolidar una red europea para promover el tratamiento y reutilización de aguas residuales urbanas incluyendo aspectos como la mejora de infraestructuras, investigación del nexo energía-agua residual en plantas de tratamiento, y de la reutilización y recuperación de nutrientes. El intercambio de personal y de conocimiento entre las instituciones académicas y las empresas participantes es una parte muy importante del proyecto. La unidad de TSA participa como líder del paquete de trabajo 4 (WP4) "Reutilización del Agua Residual Recuperada y Recursos Extraídos de Valor Añadido".

Este paquete de trabajo tiene por objetivo llevar la innovación más allá de los actuales desarrollos de última generación, investigando el potencial del uso y la combinación de procesos que requieran una baja demanda energética, como son los POA, destilación solar y ósmosis directa, así como la planificación de una estrategia holística en el tratamiento de Agua Residual Urbana (ARU) para producir un agua regenerada de calidad con alto potencial de uso en varios sectores principalmente en la agricultura. Sin embargo, potencialmente también podría usarse para parques acuáticos, recarga de acuíferos, agua potable, etc. La identificación de los productos de valor añadido (como sales, iones, nutrientes, etc.) que puedan ser recuperados del ARU también será parte de la estrategia integral de tratamiento del ARU. Este paquete de trabajo (WP4) sugerirá soluciones para derribar las principales barreras que detienen el uso extensivo del agua residual recuperada, por ejemplo los retos técnico-científicos y los fallos regulatorios relacionados con el marco legal Europeo sobre el uso del ARU.

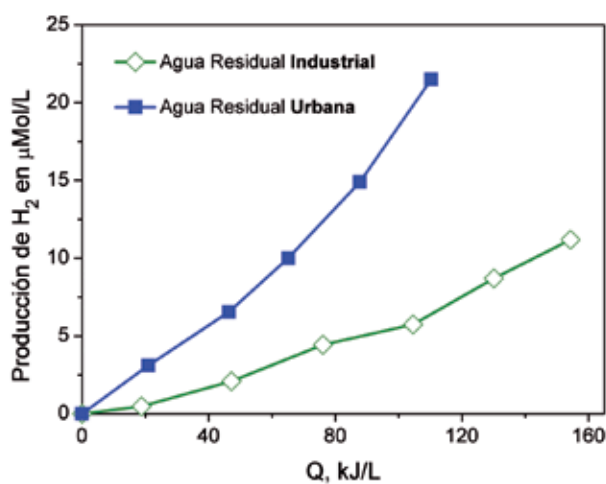


Figura 5. Producción de hidrógeno gas vs. energía acumulada en el fotorreactor (305-550 nm). Volumen total 25 L, catalizador de Au/TiO<sub>2</sub> 0.2 g/L en suspensión. Tiempo de irradiación total 5h. Adaptada de International Journal of Hydrogen Energy 41 (2016) 11933-11940. | Figure 5. Production of hydrogen gas versus energy accumulated in the photo-reactor (305-550 nm). Total volume 25 L, Au/TiO<sub>2</sub> 0.2 g/L catalyst in suspension. Total irradiation time 5h. Adapted from International Journal of Hydrogen Energy 41 (2016) 11933-11940.

prototypes with respect to efficiency of disinfection for the achievement of drinking water quality standards and the cost of producing these prototypes will determine the definitive type of solar reactor to be built and integrated with rainwater collection tanks in a number of rural communities in Uganda and South Africa. The ultimate objective is to carry out pilot experiments in rural communities in the two countries in order to evaluate the efficiency of the reactor for rainwater disinfection and the social acceptance of this technology in the communities involved in the study.

### Accelerating innovation in urban wastewater management

The ALICE Project (Accelerate Innovation in Urban Wastewater Management for Climate Change, 01.01.2017 – 31.12.2020) is funded by the European Union through the H2020-MSCA-RISE-2016 programme. It seeks to consolidate a European network to promote the treatment and reuse of urban wastewater, including aspects such as infrastructure enhancement, research of the energy-wastewater nexus in treatment plants, and the research of nutrient recovery and reuse. Exchange of staff and know-how amongst participating institutions and enterprises is a key element of the project. The TSA Unit is participating as leader of Work Package 4 (WP4) "Reclaimed Wastewater Reuse and Resource Recovery".

This objective of this work package is to take innovation above and beyond current latest generation developments and investigate the potential of using and combining processes that have a low energy demand, such as AOPs, solar distillation and direct osmosis, as well as to plan a holistic Urban Wastewater (UWW) treatment strategy in order to produce good quality reclaimed water with a high potential for use in several sectors, primarily in agriculture. However, it could also potentially be used for water parks, recharging aquifers, drinking water, etc. The identification of value added products (such as salts, ions, nutrients, etc.) that can be recovered from UWW will also be part of the global UWW treatment strategy. This work package (WP4) will suggest solutions to break down the main barriers that are hindering the extensive use of recovered wastewater, such as technical-scientific challenges and regulatory shortcomings associated with the European legal framework on the use of UWW.

### Production of hydrogen with simultaneous pollutant removal

The Hidropilsol Project (01.01.2014 - 31.12.2017) is a national project financed through the "RETOS DE LA SOCIEDAD" 2013 R&D&i programme. The aim is to develop basic studies and a solar pilot plant for photocatalytic hydrogen production with the simultaneous removal of aqueous phase pollutants.



### Producción de hidrógeno con eliminación simultánea de contaminantes.

En el proyecto Hidropilsol (01.01.2014 - 31.12.2017), proyecto nacional financiado por el programa de I+D+i orientada a los “RETOS DE LA SOCIEDAD” 2013, se pretende desarrollar estudios básicos y en planta piloto solar sobre la producción fotocatalítica de hidrógeno con eliminación simultánea de contaminantes en fase acuosa. El objetivo general de este proyecto es la obtención de hidrógeno gas a partir de agua y contaminantes orgánicos, o biomasa, que en ésta puedan estar disueltos. Realizando la generación de hidrógeno en un reactor a escala de planta piloto. Los resultados mostraron (figura 5) que se consigue producir diferentes cantidades de hidrógeno en función del tipo de agua residual utilizada.

Más información disponible en:

<http://www.psa.es/es/areas/tsa/general.php>

- Decontamination and disinfection of water by solar photocatalysis: Recent overview and trends. *Catalysis Today*, Vol. 147, Iss. 1 (2009) 1-59.
- Solar photo catalytic detoxification and disinfection of water: Recent overview. *Journal of Solar Energy Engineering, Transactions of the ASME*, Vol. 129, Iss. 1 (2007) 4-15.
- Solar disinfection is an augmentable, in situ-generated photo-Fenton reaction—Part 2: A review of the applications for drinking water and wastewater disinfection. *Applied Catalysis B: Environmental*, 198 (2016) 431-446.
- Decontamination and disinfection of water by solar photocatalysis: The pilot plants of the Plataforma Solar de Almería. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 42 (2016) 15-23.
- Combination of Advanced Oxidation Processes and biological treatments for wastewater decontamination—A review. *Science of the Total Environment*, 409 (2011) 4141-4166.
- Enhancement of the Fenton and photo-Fenton processes by components found in wastewater from the industrial processing of natural products: The possibilities of cork boiling wastewater reuse. *Chemical Engineering Journal*, 304 (2016) 890-896.
- Is the combination of nanofiltration membranes and AOPs for removing microcontaminants cost effective in real municipal wastewater effluents? *Environmental Science Water Research & Technology*, 2 (2016) 511-520.
- Photocatalytic hydrogen production in a solar pilot plant using a Au/TiO<sub>2</sub> photo catalyst. *International journal of hydrogen energy*, 41 (2016) 11933-11940.

The general objective of the project is to obtain hydrogen gas from water and organic pollutants (or biomass) which may be dissolved in the water, generating the hydrogen in a pilot-plant scale reactor. The results have demonstrated that different quantities of hydrogen can be produced depending on the type of wastewater used (Figure 5).

Further information is available at:

<http://www.psa.es/es/areas/tsa/general.php>

- Decontamination and disinfection of water by solar photocatalysis: Recent overview and trends. *Catalysis Today*, Vol. 147, Iss. 1 (2009) 1-59.
- Solar photo catalytic detoxification and disinfection of water: Recent overview. *Journal of Solar Energy Engineering, Transactions of the ASME*, Vol. 129, Iss. 1 (2007) 4-15.
- Solar disinfection is an augmentable, in situ-generated photo-Fenton reaction—Part 2: A review of the applications for drinking water and wastewater disinfection. *Applied Catalysis B: Environmental*, 198 (2016) 431-446.
- Decontamination and disinfection of water by solar photocatalysis: The pilot plants of the Plataforma Solar de Almería. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 42 (2016) 15-23.
- Combination of Advanced Oxidation Processes and biological treatments for wastewater decontamination—A review. *Science of the Total Environment*, 409 (2011) 4141-4166.
- Enhancement of the Fenton and photo-Fenton processes by components found in wastewater from the industrial processing of natural products: The possibilities of cork boiling wastewater reuse. *Chemical Engineering Journal*, 304 (2016) 890-896.
- Is the combination of nanofiltration membranes and AOPs for removing microcontaminants cost effective in real municipal wastewater effluents? *Environmental Science Water Research & Technology*, 2 (2016) 511-520.
- Photocatalytic hydrogen production in a solar pilot plant using a Au/TiO<sub>2</sub> photo catalyst. *International journal of hydrogen energy*, 41 (2016) 11933-11940.



Dr. Leónidas Pérez Estrada

Investigador. Unidad de Tratamientos Solares de Aguas de la Plataforma Solar de Almería (PSA-CIEMAT)  
 Researcher at the Solar Treatment Unit of the Plataforma Solar de Almería (Almería Solar Platform - PSA-CIEMAT)