

La Dra. Rosa María Ramírez Zamora, Claudia Montoya, Myriam Solís y Rafael Schouwenaars fueron los ganadores del Premio Universitario León y Pola Bialik a la innovación tecnológica 2016 por su proyecto “La fotocatalisis, como un proceso sustentable, para el tratamiento de aguas residuales de la industria mezcalera y la producción de combustibles”. Junto con el de 2011, esta es la segunda ocasión en que la Dra. Rosa María Ramírez Zamora obtiene este premio.

En esta convocatoria participaron tres proyectos de distintas entidades académicas como la Facultad de Ciencias; la Facultad de Ingeniería y el del Instituto de Ingeniería, que fue el ganador de este premio cuyo jurado calificador estuvo integrado por personalidades de reconocido prestigio en el campo de la ciencia, la tecnología y el humanismo.

A continuación puedes leer el proyecto ganador.



# La fotocatálisis como un proceso sustentable, para el tratamiento de aguas residuales de la industria mezcalera y la producción de combustibles

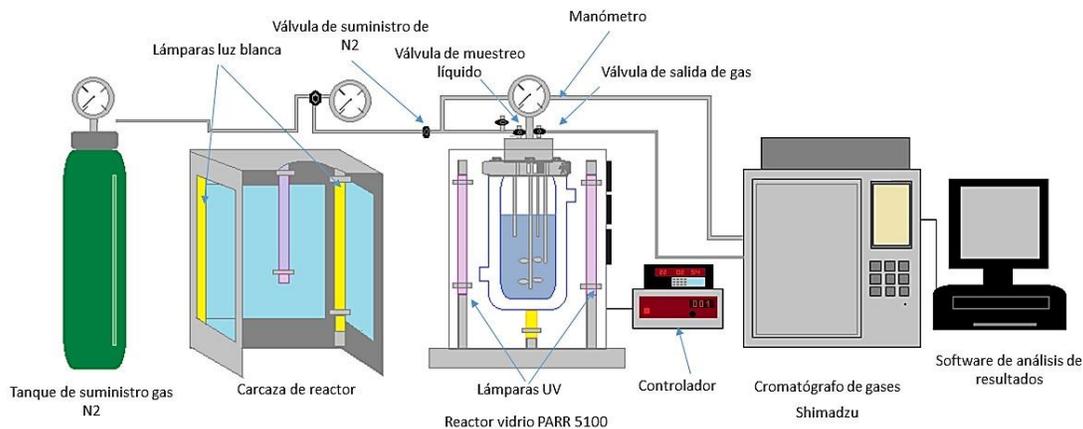
*Ramírez-Zamora R. M., Montoya-Bautista C. V., Solís-López M., Schouwenaars R.*

Rosa María Ramírez Zamora, Investigadora del Instituto de ingeniería, UNAM  
Claudia Victoria Montoya Bautista, Estudiante de doctorado en Ingeniería ambiental, IINGEN, UNAM  
Myriam Solís López, Posdoctorante de la Facultad de Ingeniería, UNAM  
Rafael Schouwenaars, Profesor de la Facultad de Ingeniería, UNAM

La necesidad de abastecer la demanda de energía ha aumentado el consumo de combustibles fósiles principalmente, de acuerdo a la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico), en el año 2040 la demanda energética se incrementará en aproximadamente 40% y en países como China se seguirá consumiendo carbón. Además, se espera que las energías renovables crezcan en un 2.6% por año; las energías renovables alternas pueden mitigar los problemas ambientales reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero (EIA, 2016).

Entre los combustibles que se plantean como alternos destaca el hidrógeno, debido a que posee un alto valor energético (cerca de tres veces más que la gasolina [33KWh/kg *versus* 10KWh/kg]) (Linares y Moratilla, 2007), y actualmente se emplea en autos para hacerlos más amigables con el ambiente.

Existen diversas tecnologías que generan hidrógeno, siendo la fotocatálisis un proceso de reciente creación (menos de 40 años), que ha ganado aceptación como una alternativa viable a las tecnologías de producción de hidrógeno y descontaminación. El proceso puede aprovechar principalmente los contaminantes provenientes de aguas residuales industriales, para transformarlos en metano e hidrógeno gaseoso. Además, elimina de forma parcial o total los contaminantes y reduce de forma considerable la toxicidad de los efluentes (Gaya, 2014; Chen *et al.*, 2010). De acuerdo con diversas investigaciones, esta tecnología permite eliminar con altas eficiencias de remoción con alcoholes, colorantes, plaguicidas e incluso cianuro (Li *et al.*, 2001; Lanese *et al.*, 2013; Lee *et al.*, 2001).



El fotocatalizador más empleado es el dióxido de titanio o titania (TiO<sub>2</sub>) en tamaños nanométricos, el cual es activado con luz ultravioleta (UV). No obstante, solo el 5% de la radiación solar corresponde a la luz UV, por lo que el aprovechamiento del espectro solar es poco eficiente; además, al ser partículas muy pequeñas y de bajo peso, se encuentran suspendidas en el sistema lo que las hace difíciles de recuperar eficientemente (Abe, 2010; Paoustura et al., 2006).

Para mejorar el desempeño del catalizador y aprovechar el espectro solar, la titania se emplea con una inclusión de algún metal precioso en la superficie (como el oro o platino); sin embargo, una opción para aumentar la sustentabilidad de los procesos de fotocatalisis es emplear residuos y/o subproductos industriales como fotocatalizadores, dentro de los cuales destacan las escorias metalúrgicas.

En el caso de la industria del cobre, estudios del grupo de trabajo han demostrado que puede ser fotoactivada con longitudes de onda cercanas a los 500 nm, propiciando que la escoria pueda trabajar en la región de luz visible y realizar el proceso fotocatalítico utilizando luz solar como fuente de energía. Por otra parte, México es uno de los mayores productores de este metal, y se calcula que por cada tonelada de cobre producido se generan de 2.2 a 3 toneladas de este subproducto (Zazoua *et al.*, 2014; Biswas y Satapathy, 2010; Zhang *et al.*, 2015).

Para producir hidrógeno y metano vía fotocatalisis es necesario emplear compuestos orgánicos llamados agentes de sacrificio, por tanto, este trabajo propone emplear aguas residuales para aumentar la sustentabilidad del proceso y degradar los compuestos orgánicos contenidos en las mismas. Un caso particular de aguas residuales contaminadas en México que pueden ser empleadas en el proceso por sus altas concentraciones de alcoholes y ácidos orgánicos, es la industria artesanal productora de bebidas alcohólicas derivadas del agave (Robles-González *et al.*, 2012; Vázquez, 2008).

Se estima que durante la producción de mezcal artesanal, por cada 150 L de producto final se generan de 30 a 50 L de bagazo de agave, de 28 a 50 L de vinazas (residuos de la fermentación con alta carga orgánica) y de 10 a 22 L de subproductos de la destilación. Los subproductos que se encuentran en mayor concentración en las aguas residuales de la destilación de bebidas alcohólicas del agave son metanol, propanol, isopropanol, isopentanol, ácido fórmico y ácido acético; compuestos que representan un riesgo al ambiente cuando se descargan al agua y suelo, o inclusive a la salud cuando son ingeridos.

En nuestro país no existe normatividad que regule la descarga de estos compuestos, debido a que únicamente se marcan parámetros como demanda química de oxígeno y demanda bioquímica de oxígeno en la NOM-064-ECOL-1994; sin embargo, en otros países es reglamentada la descarga de estos subproductos por los riesgos a la salud y al ambiente, ya que han sido identificados en ríos y lagos como el de Ontario en Canadá (HSBD, 2015).

En Resumen, la fotocatalisis heterogénea que se propone emplear en este proyecto es una innovación tecnológica del proceso convencional, al emplear como fotocatalizador escorias metalúrgicas de cobre que permiten degradar con altas eficiencias alcoholes, azúcares, ácidos carboxílicos y otros compuestos orgánicos provenientes de aguas residuales de diversas industrias con una alta producción simultánea de combustibles (Bianchini et al., 2009; Marui et al., 2014; Sheldon, 2015; Carballeira et al., 2004; Zielińska et al., 2008).



### Costo del proceso

Hasta el momento, únicamente se han realizado pruebas a nivel laboratorio en las que ha sido posible constatar el funcionamiento de la escoria como fotocatalizador en la degradación de alcoholes con una producción simultánea de hidrógeno y metano. Además, los resultados mostraron que es posible emplear luz solar en el sistema lo que ofrece una ventaja competitiva frente al  $\text{TiO}_2$ , el fotocatalizador mayormente empleado en fotocatalisis.

La escoria metalúrgica tiene un costo de \$0.26/kg, mientras que el proceso de producción de un fotocatalizador de  $\text{Pt/TiO}_2$  puede llegar a costar cerca de \$37/kg. El costo total del proceso de fotocatalisis implicaría el costo del reactor y el almacenamiento de los combustibles, sin embargo, la escoria como catalizador reduciría significativamente los costos del proceso.

## Beneficios

De acuerdo con informes del Consejo Nacional de Población (CONAPO), el Comité de Planeación del Estado de Oaxaca (COPLADE) e información de diversos autores, se estima que cerca de 30,000,000 de personas se encuentran involucradas en el proceso de producción de alguna bebida destilada de agave y podrían ser beneficiadas por la producción de combustibles para su empleo directo (Vázquez, 2008; Salazar y Mungaray, 2008; Salazar, 2004).

En el caso particular de la industria mezcalera y otras bebidas alcohólicas derivadas del agave, la elaboración artesanal emplea la combustión de leña como fuente de energía en el proceso de cocción de la piña. Esto no sólo genera un problema de emisión de GEI sino también de deforestación de grandes áreas dentro de los bosques cercanos a las industrias de bebidas alcohólicas. Esta deforestación propicia la pérdida de mantos acuíferos subterráneos (FAO, 2016).

Además, al degradar los compuestos orgánicos presentes en los subproductos de la destilación de bebidas alcohólicas de agave, se reduce el impacto de contaminación a cuerpos de agua donde los pobladores y otros seres vivos tienen contacto directo con estos, disminuyendo el costo de tratamiento de aguas y también el número de enfermos resultantes por la ingesta de agua contaminada.

