

## CAPTADORES SOLARES

### SOLAR CAPTORS

**Mariela E. Sola<sup>1\*</sup>, Soledad Terny<sup>2</sup>, Pablo E. di Prátula<sup>2</sup>, Evangelina C. Cardillo<sup>3</sup>, Marisa A. Frechero<sup>2\*</sup>**

(1) Universidad Nacional del Sur, Departamento de Química, INQUISUR.

(2) Universidad Nacional del Sur, Departamento de Química, INQUISUR, CONICET.

(3) Universidad Nacional del Sur, Departamento de Química, INQUISUR, CIC Buenos Aires.  
Avda. Alem 1253, Bahía Blanca, Argentina

\*autor de contacto (e-mail: mesola@criba.edu.ar, frechero@uns.edu.ar)

*Recibido: 11/09/2017 - Evaluado: 01/11/2017 - Aceptado: 15/01/2018*

### RESUMEN

En este trabajo se ha diseñado un material innovador que permite la transformación de la luz solar en energía calórica con alta eficiencia, consiguiendo además, cumplir un doble propósito: reaprovechar desechos industriales (parabrisas de automotores y cenizas) y contribuir al cuidado del medioambiente mediante el desarrollo de un nuevo método de generación de "energía verde". Los nanocompositos constituidos por nanopartículas de Ag ancladas en una matriz vítrea, se sintetizaron utilizando una celda de estado sólido formada por electrolitos cristalinos y amorfos. Los materiales obtenidos se caracterizaron mediante técnicas de espectroscopia UV-Vis e Impedancia. El aumento en la permitividad da lugar a una mejora notable en el proceso de transporte de calor (nanopartícula-matriz) incrementando la funcionalidad del material nanocompuesto diseñado para la "cosecha de energía" (luz solar).

### ABSTRACT

In this paper, it has been designed an innovative material that allows the transformation of sunlight into heat energy with high efficiency and it fulfills a dual purpose: to reuse industrial wastes (motor vehicles' windshield and heat systems' ashes) and to contribute to environment care by developing of a new method of "green energy" generation. The nanocomposites constituted by Ag nanoparticles anchored in a vitreous matrix, were synthesized using a solid state cell formed by crystalline and amorphous electrolytes. The materials were characterized by UV-Vis and impedance spectroscopy techniques. The increase observed in their permittivity results in a significant improvement in the heat transport process (nano-particle/glassy matrix) which provokes an improvement in the nano-composite material functionality for "energy harvesting" (sunlight).

Palabras clave: vidrios de desechos, nanopartículas de plata, nanocompositos, cosecha de energía  
Keywords: wasted glass, silver nanoparticles, nano-composites, energy harvesting

## INTRODUCCIÓN

La generación de energías limpias es un constante desafío al que se enfrenta actualmente la humanidad. Por otra parte, el reciclaje de residuos domésticos e industriales requiere de una urgente atención. Atender a ambas problemáticas es sin duda un objetivo muy ambicioso, sin embargo consideramos que el desarrollo de este trabajo fue capaz de encontrar una -entre muchas- solución que abarca a ambos requerimientos.

Particularmente, los vidrios y las cenizas de sistemas de combustión de biomasa presentan un enorme potencial para atender a esta búsqueda de reaprovechamiento con alto valor agregado mediante el desarrollo de un nuevo material compuesto de base vítrea con vasta aplicación en el campo del ahorro energético (Yoon *et al.*, 2013; Binhussain *et al.*, 2014; Ciecinska *et al.*, 2014; Farzana *et al.*, 2014; Domínguez *et al.*, 2016; Rincón *et al.*, 2016). En distintos países del mundo, existen varias organizaciones que se encargan del reciclaje de los desperdicios vítreos. En España, la organización EcoVidrio, los recolecta y luego de tratarlos genera materia prima que se utiliza en la producción de nuevos envases (<http://www.ecovidrio.es/>), la compañía estadounidense Verallia, presente en varios países europeos y americanos, se encarga de la fabricación de nuevos envases de vidrio a partir de materiales reciclados (<https://www.verallia.com/>). En la República Argentina, a través de los municipios se están implementando mecanismos para fomentar el reciclaje de diferentes desechos. En nuestra ciudad, Bahía Blanca se ofrece a los vecinos un lugar donde depositar de manera separada los residuos que generan en sus hogares en espacios denominados "puntos limpios". Luego se trata la fracción de inertes para la recuperación de papel, vidrio, metales, plásticos, etc., en una planta destinada a tal fin (Ecoplanta) donde también se procede a la preparación del compost a partir de la materia biodegradable. Se busca así revertir el impacto negativo que produce la disposición de los residuos por pérdidas de recursos y por contaminación ambiental, reincorporando la mayor cantidad de materia al ciclo productivo (<http://www.bahiablanca.gob.ar/>). Sin embargo, en ninguna de las organizaciones previamente mencionadas se trabaja con vidrios laminados, como son los vidrios de parabrisas, debido a que sus procesos no involucran un paso para remover los polímeros que contienen.

Por todo lo expuesto, en este trabajo se da lugar al desarrollo de un material innovador que permite reaprovechar este desecho de excelente calidad (ya que la mayoría de los parabrisas provienen del mismo fabricante, la empresa inglesa Pilkington), el cual presenta una composición química constante lo que constituye una propiedad muy valiosa a la hora de proponer su reutilización. Se presenta aquí, además, una mejora en su procesabilidad que permite modificar su composición química con el objeto de disminuir su punto de fusión y reducir su viscosidad y, al mismo tiempo, reducir el costo económico del nuevo proceso. Uno de los modificadores destacados que se propone son cenizas de combustión de biomasa, permitiendo un nuevo reaprovechamiento de un segundo desecho actualmente de escasa aplicación.

Particularmente se hace referencia ahora al uso del vidrio en aplicaciones tecnológicas vinculadas a formas de energía tendientes a proteger el medio ambiente, se deben citar los sistemas vinculados a la energía solar mediante el empleo del vidrio debido a su transparencia óptica y su durabilidad química (Axinte, 2011; Brow & Schmitt, 2009). Vidrios silicatos dopados con nanopartículas metálicas son usados desde hace décadas en biomateriales, tecnología solar, plasmónica, catálisis, sensores, etc. Sin embargo, en la literatura, no se conoce su empleo como generadores de "energías verdes". En su interacción con la radiación electromagnética, las nanopartículas metálicas generan calor (Govorov & Richardson, 2007). Partiendo de este fenómeno físico conocido, en este trabajo se han sintetizado nanopartículas de plata (AgNPs) albergadas en el seno de una matriz vítrea utilizando una celda de estado sólido para fabricar un nuevo material que capta la luz solar, la transforma en calor y la almacena sin necesidad de interfaz electrónica alguna.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención de "materia limpia"

Para la fabricación de los materiales de este trabajo se utilizó como materia prima vidrio de automóviles (parabrisas). Inicialmente, el polímero contenido entre las láminas se eliminó por inmersión del vidrio previamente fracturado en una solución concentrada (saturada) de Na(OH) durante aproximadamente 2 horas.

Luego, se retira, se lava con agua destilada y se transforma en un polvo fino (por molienda en un molino de bolas) denominado a partir de ahora "materia limpia".

#### Síntesis del vidrio modificado

Se aplicó el método de fusión seguido de enfriamiento rápido (quenching) a la materia limpia junto con la proporción adecuada de cenizas y agentes modificadores fluidizantes como  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  y  $\text{B}_2\text{O}_3$  (ver Tabla 1). Los reactivos utilizados fueron de calidad pro-análisis y las cenizas se pasaron por un tamiz de malla nº 50 (U.S. STD. Sieve). Las cantidades apropiadas de materia limpia y modificadores fueron homogeneizadas mecánicamente y colocadas en crisol de porcelana para su fusión en un horno Carbolite RHF 1600 entre 1000 y 1100 °C. En la Tabla 1 se muestra la composición de los materiales.

Tabla 1: Composición de los materiales fabricados.

Componente (% masa)	materia limpia	cenizas	$\text{CaF}_2$	$\text{Na}_2\text{CO}_3$	$\text{B}_2\text{O}_3$
muestra A	60.00	19.98	20.02	----	----
muestra B	59.92	16.82	----	7.05	16.25

#### Desarrollo de nanopartículas de plata

Una vez obtenidos los nuevos materiales vítreos, se prepararon nanopartículas de plata utilizando una celda electroquímica de estado sólido formada por electrolitos cristalinos y amorfos:



donde EC: electrolito cristalino ( $\text{AgI}$ ; fuente y sumidero de iones  $\text{Ag}^+$ ) y EA : electrolito amorfo (vidrio silicato).

Es importante señalar aquí, que el funcionamiento de este proceso de síntesis de nanopartículas depende de la presencia de iones de hierro (II) en el seno de la matriz vítrea. Este ión se encuentra en la formulación original del vidrio de parabrisas, sin embargo, en este trabajo es reforzado por la incorporación de las cenizas. La reducción de los cationes  $\text{Ag}^+$  se produce de acuerdo con la siguiente reacción (Berger, 1992):



*Procedimiento 1:* se emplean tabletas de  $\text{AgI}$  y de  $\text{Ag}$  de aproximadamente 10 mm de diámetro y 1 mm de espesor. En esta celda electroquímica, el disco de vidrio (1 mm de espesor y 10 mm de diámetro) se presiona entre los discos de  $\text{AgI}$  y de  $\text{Ag}$ , asegurando así un buen contacto entre los componentes. Luego se la dispone en un horno con control de temperatura en un rango de 470 - 480 °C. Se aplican escalones de potencial con un potencióstato (Wenking POS 73) empleando alambres de platino como contacto al exterior.

*Procedimiento 2:* se procede a dejar el tiempo apropiado el electrolito vítreo en contacto con el  $\text{AgI}$ , ambos dispuestos de la misma manera que en la celda (1) sin utilizar la técnica electroquímica y aplicando solamente el control de temperatura. Empleando esta última técnica se sintetizaron también las  $\text{AgNPs}$  en los vidrios de parabrisas sin modificar, es decir, sin pasar por el proceso de fusión, únicamente habiendo eliminado el polímero (muestras denominadas D2 a D5).

Finalmente, las  $\text{AgNPs}$  se confirmaron por espectroscopia UV-Vis utilizando un espectrofotómetro UV-Vis Agilent Cary 60.

#### Determinación del contenido de hierro

Como se mencionó anteriormente, el contenido de hierro es imprescindible para la síntesis de las nanopartículas. Para determinar la concentración en la matriz vítrea se utilizó espectrofotometría UV-Vis empleando un equipo

SP 1103. Sabiendo que el contenido de  $\text{Fe}^{3+}$  se puede conocer a partir del complejo que forma con el  $\text{NH}_4\text{SCN}$ :  $[\text{Fe}(\text{NCS})(\text{H}_2\text{O})_5]^{2+}$ , se preparó una solución patrón con  $\text{Fe}(\text{NH}_4)(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ . Tomando como base las técnicas ya conocidas para la disolución de óxidos de silicio se adecuó la técnica para la disolución de las muestras de vidrio (Kolthoff & Elving, 1961). La muestra reducida a polvo fino, se pesa y se coloca en un crisol de oro junto con dos perlas de hidróxido de sodio y se funde directamente en la llama de un mechero Bunsen. El fundido aun tibio se retira del crisol con agua destilada y se disuelve totalmente con una solución acuosa de ácido nítrico (1/10), se le agregan 5 mL  $\text{NH}_4\text{SCN}$  y se lo lleva a volumen en matraz de 25 mL.

#### Propiedades eléctricas

El estudio de las propiedades eléctricas (conductividad y permitividad eléctrica) se realizó con un impedancímetro Agilent 4284A Precision LCR Meter, aplicando una diferencia de potencial de 100 mV, sobre tabletas de aproximadamente 1 mm de espesor usando láminas de Cu para asegurar el contacto eléctrico.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 1 resume la composición de las muestras denominadas A y B, obtenidas de vidrios modificados cuyo punto de fusión alcanzaron valores de 1100 y 1000 °C, respectivamente. Ambos, considerablemente menores en comparación con la temperatura de fusión de la materia limpia (1450 °C). La Tabla 2, resume los valores obtenidos de la determinación del contenido de hierro en ambas muestras:

Tabla 2: Contenido de hierro total.

Muestra	materia limpia	muestra A	muestra B
Contenido de hierro (% masa)	0.045	0.049	0.045

La Figura 1 muestra el espectro de absorción óptica alrededor de 400 nm luego del tratamiento electroquímico, después del cual la muestra A adquiere un color pardo-amarillento característico de la presencia de AgNPs. Este color está asociado con la absorción de luz por plasmones superficiales, es decir, la radiación electromagnética interactúa con la oscilación coherente de los electrones libres entre diferentes puntos de la superficie de cada partícula. Para esta muestra, el tratamiento electroquímico consistió en la aplicación de tres escalones de potencial catódico de 150 mV, circulando una carga total de 0,948 mC. El flujo de plata iónica dentro de la celda está controlado por difusión (Bazán *et al.*, 2009) y la reacción (2) ocurre cuando los iones  $\text{Ag}^+$  encuentran a su paso sitios reductores dados por la presencia de  $\text{Fe}^{2+}$  (Bazán *et al.*, 2011). Para generar las AgNPs en la muestra B, se armó la celda (1) la cual permaneció a 480°C durante aproximadamente 17 h sin aplicación de una diferencia de potencial externa. Se pudo confirmar la presencia de las AgNPs ancladas en la matriz vítrea de composición modificada por la aparición de la banda alrededor de 400 nm (Figura 2).

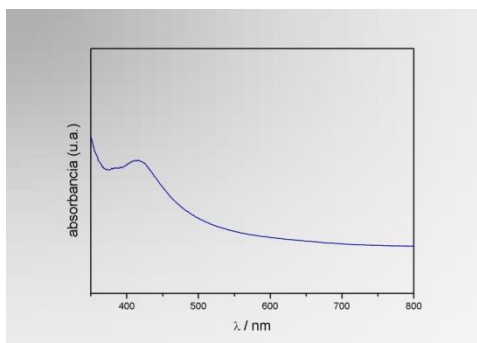


Fig. 1: Espectro de absorción de la muestra A

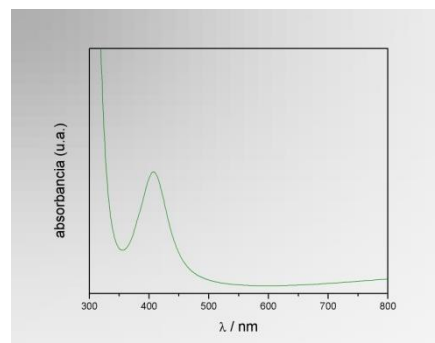


Fig. 2: Espectro de absorción de la muestra B

Por otra parte, el agregado de óxido de boro a la composición genera una disminución del punto de fusión de 100 °C (muestra B). Sin embargo, esta incorporación dificulta la formación de AgNPs, dado que se requiere de un lapso de tiempo más extenso de la muestra en contacto con el AgI a 480°C para lograr que el ion plata difunda y dé lugar a la reacción (2). Esto podría explicarse debido al cambio en el grado de polimerización de la estructura, de acuerdo con estudios realizados por espectroscopia infrarroja (Gautam *et al.*, 2012). El grado de polimerización alcanzado por la incorporación de óxido de boro conduciría a una matriz más compacta con la consiguiente dificultad de la difusión del ión plata.

En la Figura 3 se observan los espectros obtenidos antes y después de la preparación de AgNPs en la materia limpia. El espectro D1 corresponde a una muestra en la cual no se sintetizaron NPs. Los espectros D2 a D5 corresponden a cuatro discos de materia limpia que estuvieron en contacto con el AgI a una temperatura de 480 °C durante 4 h 30´.

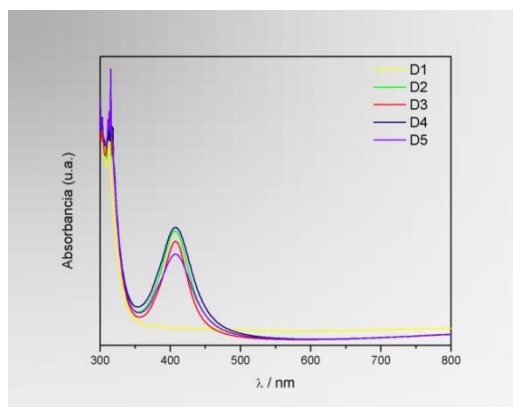


Fig. 3: El espectro D1 corresponde al vidrio sin AgNPs. Los espectros D2 a D5 corresponden a los vidrios después del tratamiento indicado en el texto.

En la Tabla 3 se encuentran los valores de las propiedades eléctricas, conductividad ( $\sigma$ ) y permitividad ( $\epsilon$ ) obtenidos por espectroscopia de Impedancia siguiendo la metodología conocida para su determinación en materiales vítreos (di Prátula *et al.*, 2017; di Prátula *et al.*, 2015; Montani & Frechero, 2006; Cardillo *et al.*, 2010).

Tabla 3: Propiedades eléctricas de los materiales.

Muestra	T / K	$\sigma$ / S cm <sup>-1</sup>	$\epsilon_{\infty}$
vidrio sin modificar	445	$9.70 \times 10^{-8}$	13.24
vidrio sin modificar + AgNPs	300	$2.00 \times 10^{-8}$	56.30
muestra B	573	$5.00 \times 10^{-9}$	2.47
muestra B + AgNPs	300	$3.80 \times 10^{-8}$	10.34

La determinación de las propiedades eléctricas de los vidrios sin nanopartículas debió hacerse a temperaturas elevadas en virtud de ser materiales pobremente conductores. Por el contrario, cuando estos materiales contienen las nanopartículas, se presenta una gran dificultad durante la medición a altas temperaturas debido a que el movimiento vibratorio de las mismas genera una gran cantidad de ruido. Sin embargo, resulta claro que la presencia de las AgNPs aumenta siempre el valor de la conductividad y la permitividad del material, superando sus valores de referencia medidos a 200 grados por debajo de sus correspondientes matrices. En concordancia con la literatura, la presencia de AgNPs aumenta la conductividad del material (Magudapathy *et al.*, 2001). En cuanto a los valores de permitividad es posible observar que el valor obtenido marca un aumento significativo, siendo esta una propiedad de impacto directo en el fenómeno del transporte de calor en la matriz.

## Generación de calor

Las NPs metálicas dispersas en un líquido o un sólido son capaces de producir un cambio de fase del medio en el cual están contenidas, cuando son iluminadas con luz solar. En ese sentido, la transformación de un líquido en vapor es ampliamente utilizada en procesos tales como destilación, esterilización, desalinización, etc. (Govorov & Richardson, 2007; Hao *et al.*, 2011; Neumann *et al.*, 2013; Attinger *et al.*, 2014). Como se mencionó anteriormente, el aumento de permitividad es una mejora importante en los procesos de transporte de calor en un material. Habiendo mejorado notablemente esta propiedad con las modificaciones introducidas en la matriz vítrea, se evaluó la funcionalidad del material fabricado para "cosechar energía" proveniente de la radiación solar. A tal fin, se desarrolló un diseño experimental tal como muestra la Figura 4. En sendos envases de poliestireno expandido, se colocó una cantidad medida de agua destilada. En uno de los recipientes se introdujeron únicamente discos de vidrio sin AgNPs (recipiente: R1) y en el otro, igual cantidad de discos de vidrio con AgNPs (recipiente: R2). Cabe destacar que los recipientes contenían masas iguales tanto de agua destilada como de material vítreo. Se colocó por encima de ambos recipientes un film de polietileno para prevenir la contaminación del agua y minimizar la pérdida de agua por posible evaporación. Se expuso el dispositivo a la radiación solar y se midieron a distintas horas del día la temperatura ambiente y la temperatura del agua en cada uno de los recipientes utilizando una termocupla tipo K. Con los datos obtenidos durante una jornada primaveral de nueve horas, a modo de ejemplo, se representó la respuesta buscada en la gráfica de la Figura 5.



Fig. 4: Arreglo experimental destinado a la "cosecha de energía". Recipiente ubicado a la izquierda (R1): discos de vidrio sin AgNPs. Recipiente ubicado a la derecha (R2): discos de vidrio con AgNPs.

De los datos experimentales presentados en la Figura 5 es posible calcular el calor absorbido por el agua en el momento que se registró la mayor diferencia de temperatura entre ambos recipientes (punto "a" en la Figura 5) mediante la ecuación general de la calorimetría:

$$q = mC_p\Delta T \quad (3)$$

donde  $q$  es el calor absorbido por el agua,  $m$  es la masa de agua,  $C_p$  es calor específico del agua líquida a presión constante ( $4.184 \text{ J g}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ) y  $\Delta T$  es la diferencia de temperatura entre la temperatura ambiente y la temperatura del agua de cada uno de los recipientes. En la Tabla 4 se encuentran los valores calculados.

Tabla 4: Calor absorbido por el agua de cada uno de los recipientes de acuerdo a la diferencia de temperatura entre el agua y la temperatura ambiente  $\Delta T$ .

Recipiente	Masa agua / g	$\Delta T$ / K	$q$ / J
R1	41.7780	3.0	524.4
R2	41.8697	7.5	1313.9

La respuesta térmica del sistema indica que la conversión de energía de la luz solar a energía calórica es superior en un 40 % en el recipiente, R2, que contiene material con AgNPs ancladas en la matriz vítrea. Es de hacer notar la gran dependencia de la respuesta del material con la intensidad de luz solar y las condiciones climáticas. Tan pronto el sol interactúa con el sistema la respuesta es inmediata, como se observa en la figura que representa la eficiencia del sistema (Figura 5). Esto se debe a que las AgNPs al recibir energía de la luz solar pasan a un estado excitado y cuando regresan a su estado fundamental liberan energía en forma de calor. Este calor se transfiere a la matriz y de ésta al agua destilada, que actúa como reservorio de la energía cosechada sin requerir de ninguna otra intervención.

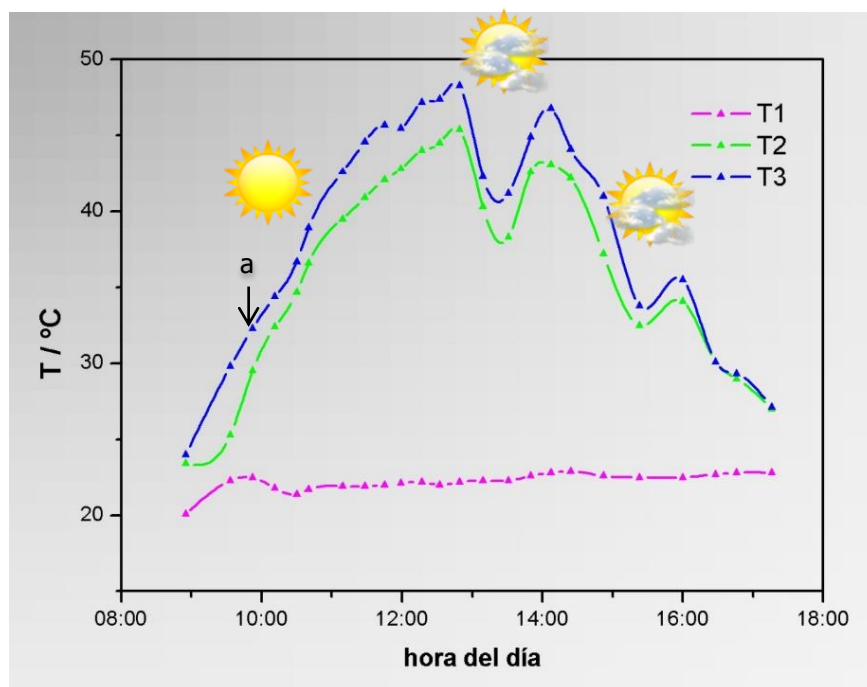


Figura 5: Eficiencia del sistema: la curva T1 corresponde al valor de la temperatura ambiente y las curvas T2 y T3 corresponden a las temperaturas del agua de los recipientes R1 y R2 respectivamente.

## CONCLUSIONES

La preparación de AgNPs en el vidrio de parabrisas sin modificar su composición (discos D2 a D5) fue exitosa, lo que indica que contienen la cantidad adecuada de hierro para que la reacción de síntesis tenga lugar. Las modificaciones químicas de la matriz por el agregado de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  y  $\text{B}_2\text{O}_3$  resultaron de gran beneficio disminuyendo la temperatura de fusión y aumentando la fluidez. Por lo tanto, un trabajo futuro hasta alcanzar la convergencia de ambos logros será de gran valor en la optimización de este nuevo material.

Los resultados de la "cosecha de energía" son promisorios. Esto amerita continuar con el estudio de la aplicación de estos nuevos materiales a fin de establecer las condiciones operativas óptimas para lograr su mayor eficiencia.

Por último, es importante señalar que la innovación y el reaprovechamiento de residuos merecen la atención del sector científico tecnológico para brindar respuestas a la demanda de la sociedad y dar lugar a la generación de nuevos emprendimientos productivos.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por la Universidad Nacional del Sur (PGI: 24/Q078) y CONICET. P.d.P. es becario postdoctoral CONICET. S.T. y M.F. son investigadoras CONICET, Argentina. E.C. es investigadora CIC, pcia. Buenos Aires, Argentina.

## REFERENCIAS

1. Attinger, D., Frankiewicz, C., Betz, A., Schutzius, T., Ganguly, R., Das, A., *et al.* (2014). Surface engineering for phase change heat transfer: A review. *MRS Energy & Sustainability: A Review Journal*, 1. doi:10.1557/mre.2014.9
2. Axinte, E. (2011). Glasses as engineering materials: A review. *Mat. Des.*, 32, 1717-1732.
3. Bazán, J.C., Sola, M., & Janyistabro, C. (2009). Electrochemical determination of the diffusion coefficient of silver ions in soda-lime-silica glass. *Phys. Chem. Glasses: Eur. J. Glass Sci. Technol. B*, 50 (2), 109–112.
4. Bazán, J.C., Sola, M., Janyistabro, C., Hofmeister, H. & Dubiel, M. (2011). Preparation of silver nanoparticles in soda-lime silica glass by an electrochemical procedure. *J. Non-Cryst. Solids*, 357(6), 1527–1530.
5. Berger, A. (1992). Concentration and size depth profile of colloidal silver particles in glass surfaces produced by sodium-silver ion - exchange. *J. Non-Cryst. Solids*, 151 (1-2), 88–94.
6. Binhussain, M.A., Marangoni, M., Bernardo, E. & Colombo, P. (2014). Sintered and glazed glass-ceramics from natural and waste raw materials. *Ceramics International*, 40 (2), 3543–3551.
7. Brow, R.K. & Schmitt, M.L. (2009). A survey of energy and environmental applications of glass. *J. Eur. Ceram. Soc.*, 29, 1193-1201.
8. Cardillo, E., Montani, R. & Frechero, M.A. (2010). A weak mixed mobile ion effect in vanadium-tellurite oxide glass modified by silver and lithium cations. *J. Non-Crystalline Solids*, 356 (50-51), 2760-2763.
9. Ciecinska, M., Stoch, P. & Stoch, A. (2014). Thermal properties of vitrified llw hospital incineration ash. *J. Therm. Anal. Calorim.*, 116 (1), 35-39. Doi: 10.1007/s10973-013-3527-z.
10. di Prátula, P.E., Terny, S., Sola, M.E. & Frechero, M.A. (2017). Ionic conductivity enhancement achieved by the incorporation of ZnO in a lithium tellurite glass. *J. Non-Crystalline Solids*, 461, 18-23.
11. di Prátula, P.E., Terny, S., Cardillo, E. & Frechero, M.A. (2015). The influence of transition metal oxides type  $M^+/M^{++}$  on the vanadium-tellurite glasses electrical behavior. *Solid State Sciences*, 49, 83-89.
12. Domínguez, A., Domínguez, M.I., Ivanova, S., Centeno, M.A. & Odriozola J.A. (2016). Recycling of construction and demolition waste generated by building infrastructure for the production of glassy materials. *Ceramics International*, 42, 15217–15223.
13. Farzana, R., Rajarao, R. & Sahajwalla, V. (2014). Synthesis of ferrosilicon alloy using waste glass and plastic. *Materials Letters*, 116, 101-103.
14. Gautam, C., Yadav, A.K. & Singh, A.K. (2012). A review on Infrared Spectroscopy of Borate Glasses with Effects of Different Additives. *ISRN Ceramics*, 2012. doi:10.5402/2012/428497.



15. Govorov, A.O. & Richardson, H.H. (2007). Generating Heat with metal nanoparticles. *Nanotoday*, 2 (1), 30-38.
16. Hao, J., Zhou, L. & Qiu, M. (2011). Nearly total absorption of light and heat generation by plasmonic metal materials. *Physical Review, B* 83, 165107-1/4.
17. Kolthoff, M. & Elving, P.J. (1961). Treatise on Analytical Chemistry, Part II: Analytical Chemistry of Elements, V2, edit. Interscience Publishers.
18. Magudapathy, P., Gangopadhyay, P., Panigrahi, B.K., Nair, K.G.M. & Dhara, S. (2001). Electrical transport studies of Ag nanoclusters embedded in glass matrix. *Physica B*, 299 (1-2), 142-146.
19. Montani, R.A. & Frechero, M.A. (2006). Mixed ion-polaron transport in lithium vanadium-molybdenum tellurite glasses. *Solid State Ionics*, 177, 2911-2915.
20. Neumann, O., Urban, A., Day, J., Lal, S., Nordlander, P. & Halas, N.J. (2013). Solar vapor generation enabled by nanoparticles. *ASC NANO*, 7(1), 42-49.
21. Rincón, A., Marangoni, M., Cetinb, S. & Bernardo, E. (2016). Recycling of inorganic waste in monolithic and cellular glass-based materials for structural and functional applications. *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 91, 1946-1961.
22. Yoon, S.D., Lee, J.U., Lee, J.H., Yun, Y.H. & Yoon, W.J. (2013). Characterization of wollastonite glass-ceramics made from waste glass and coal fly ash. *J. Mater. Sci. Technol.*, 29 (2), 149-153.

