



**AIDIS**  
ARGENTINA



# Ingeniería Sanitaria y Ambiental

segundo cuatrimestre 2016

N° 129

**PLANTA POTABILIZADORA  
DE LA CIUDAD DE CONCEPCIÓN  
DEL URUGUAY**



**ecopreneur**

SOLUCIONES SUSTENTABLES  
PARA UN DESARROLLO RESPONSABLE



Perú 699 - C1068AAC Ciudad Autónoma de Buenos Aires República Argentina  
Tel.: (54-11) 4361-8555 / Fax: (54-11) 4361-8089 / E-mail: [info@ecopreneur.com.ar](mailto:info@ecopreneur.com.ar) / [www.ecopreneur.com.ar](http://www.ecopreneur.com.ar)

Reg.Prop.Intelectual N° 773880  
ISSN: 0328-2937





# Ingeniería Sanitaria y Ambiental

Publicación de la Asociación Argentina de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente  
AIDIS Argentina

## Director

Ing. Eduardo L. Pérez Gattorna

**Coordinación Editorial y Comercial**  
AIDIS Argentina

**Redacción**  
AIDIS Argentina

**Editor y Propietario**  
AIDIS Argentina

**Publicidad y Suscripciones**  
AIDIS Argentina

Av. Belgrano 1580 3º piso  
(1093) Buenos Aires, Argentina  
Tel. 4381-5632/5903  
E-mail: secretaria@aidisarg.org.ar  
www.aidisarg.org.ar

Diseño y Diagramación:  
AIDIS Argentina

Impreso en Mariano Maz

La Revista Ingeniería Sanitaria y Ambiental es una publicación de la Asociación Argentina de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Sección Nacional de AIDIS Interamericana, que se distribuye sin cargo a sus socios y a personas, instituciones y empresas calificadas. Los artículos firmados expresan exclusivamente el criterio de sus autores. Los ofrecimientos, ofertas, especificaciones, etc. que surjan de los avisos comerciales son responsabilidad de los respectivos anunciantes.

La Redacción de la Revista no se responsabiliza por la devolución de originales sobre colaboraciones publicadas o no. Se autoriza la reproducción total o parcial de lo publicado en la Revista siempre que se indique claramente su procedencia.

Reg. Prop. Intelectual  
N° 773880  
ISSN: 0328-2937

# Contenido

Edición n° 129 (Segundo Cuatrimestre 2018)

- 2** Editorial
- 3** Nuevo Comité Ejecutivo de AIDIS Interamericana, para el período 2016-2018
- 4** AIDIS JOVEN: Un grupo dinámico en crecimiento
- 5** Primer Premio 20º Congreso Argentino de Saneamiento y Medio Ambiente  
El modelo "SEUS" de dispersión atmosférica aplicable a cañones urbanos: desarrollo y evaluación de su desempeño  
*Nicolás A. Mazzeo, Laura E. Venegas y Mariana C. Dezzutti*
- 13** Primer Premio Junior  
Evaluación del uso de cáscara de huevo para la remoción de hierro en agua  
*Florencia Franzoni y María Silvana Panas (Profesora tutora)*
- 21** Radiaciones no ionizantes: el "nuevo" y complejo factor de la matriz de impactos  
*Anibal Aguirre*
- 27** Evaluación del uso de cloro y ozono para la remoción de microcistina en agua destinada al consumo  
*Aranda O., Crettaz-Minaglia M.C., Juárez I., Sedan D., Rosso L., Ventosi, E., Andrinolo D., Giannuzzi L.*
- 40** Remoción de fitoplancton causante de problemas en las plantas de tratamiento de agua, y sus compuestos orgánicos asociados  
*H. Everts, A. Swanepoel y H.H. du Preez*
- 44** Eliminación de fosfatos y nitratos de aguas lacustres  
*Lisa Samudio Legal, Andrea Saralegui, Natalia Píol, Cristina Vázquez y Susana Boeykens*
- 47** Estudio preliminar de la calidad de agua y contaminación en tambos del noreste de la provincia de Santa Fe, Argentina  
*Olga Noemí Badino, Érica Schmidt, Elisabet Ramos y June Allison Thomas*
- 50** Planes de seguridad de aguas: estrategia para la diseminación en sistemas de abastecimiento de agua en Uruguay  
*Alejandro Inburo, Amalia de Lima y Sofía Ormaechea*
- 52** Biodiscos para remoción de contaminantes emergentes en aguas residuales urbanas  
*Nasly Y. Delgado Espinosa, Agustín F. Navarro, Damián J. G. Marino, Gustavo A. Peñuela Mesa y Alicia E. Ronco*
- 56** Tratamiento de barros generados en plantas de remoción de arsénico por procesos de coagulación-adsorción-filtración  
*Carla E. Murillo, Virginia Pacini, Rubén Fernández, Graciela Sanguinetti, Ana María Ingallinella*
- 66** Concentración de zinc y cobre en plantas de algodón fertilizadas con compost de residuos sólidos urbanos  
*Joelma Sales dos Santos, Vera Lúcia Antunes de Lima, Riuzuaní Michelle Bezerra Pedrosa Lopes, Tainara Tâmara Santiago Silva y Danilo Rodrigues Monteiro*
- 69** Comportamiento de las concentraciones de NO<sub>x</sub> por reordenamiento del tránsito vehicular en la ciudad de Rosario, Argentina  
*Daniel A. Andrés, Eduardo J. Ferrero, César E. Meckler, Leonardo C. Ferrari y Mabel A. Dupuy*
- 74** VII Congreso Interamericano de Residuos Sólidos
- 75** Noticias AIDIS Argentina
- 78** Humor Ambiental  
Índice de Anunciantes
- 79** Cómo asociarse a AIDIS Argentina
- 80** Solicitud de Inscripción

# Eliminación de fosfatos y nitratos de aguas lacustres

▷ Lisa Samudio Legal, Andrea Saralegui, Natalia Piol, Cristina Vázquez y Susana Boeykens

## RESUMEN

La contaminación de las aguas superficiales es un tema de constante preocupación, que necesita de esfuerzos permanentes para superarla, remediarla y controlarla. La eutrofización de los cuerpos de aguas provocada por el aumento de nutrientes (nitratos y fosfatos, principalmente) se ha convertido en un problema en todo el mundo. Este fenómeno está deteriorando el ambiente acuático, además de ocasionar serios problemas para la utilización de esas aguas, especialmente para procesos de potabilización. Además, con respecto al uso del agua para consumo humano, la alta concentración de nitratos es la causa principal de la metahemoglobinemia.

El objetivo del presente trabajo fue estudiar, a escala de laboratorio, procesos de retención y adsorción que permitan disminuir la concentración de fosfatos y nitratos. El estudio se centró en la utilización de diferentes materiales adsorbentes de origen natural o sintético, como dolomita (roca sedimentaria), hidroxiapatita (polvo de huesos) y escoria (mezcla de óxidos). Se estudió la selectividad del método trabajando con mezclas de los contaminantes para estudiar la influencia sobre los procesos de retención que produce la presencia simultánea de fosfato y nitrato en el agua contaminada. La hidroxiapatita resultó el mejor adsorbente para fosfato, con una remoción de 1,2 mg/g de adsorbente, mientras que la dolomita produjo una remoción de 0,25 mg/g de adsorbente, y la escoria de 0,07 mg/g de adsorbente. Ninguno de los adsorbentes logró una significativa remoción de nitratos. En todos los casos, el tiempo de equilibrio fue de unos 60 minutos. La presencia de nitrato no modificó los niveles de remoción de fosfato en ninguno de los estudios de inferencia realizados.

## ABSTRACT

Pollution of surface waters is a matter of constant concern that requires ongoing efforts to overcome, remedy and control it. Eutrophication of water bodies caused by increased nutrients (nitrates and phosphates, mainly) has become a problem throughout the world. This phenomenon is deteriorating the aquatic environment, as well as causing serious

problems for the use of those waters, especially for water treatment process. In addition, regarding the use of water for human consumption, the high concentration of nitrates is the leading cause of methemoglobinemia.

The aim of this work was to study, at laboratory scale, retention and adsorption processes in order to decrease the concentration of phosphates and nitrates. The study focused on the use of different adsorbents natural or synthetic origin, such as dolomite (sedimentary rock), hydroxyapatite (bone powder) and slag (MOX). selectivity of the method with mixtures working contaminants to study the influence on retention processes that produces the simultaneous presence of phosphate and nitrate contaminated water was studied. Hydroxyapatite was the best adsorbent for phosphate, with a clearance of 1.2 mg/g of adsorbent, while the dolomite produced a clearance of 0.25 mg/g of adsorbent, and slag of 0.07 mg/g adsorbent. None of the adsorbents produced significant removal of nitrates. In all cases, the equilibration time was about 60 minutes. The presence of nitrate levels did not change phosphate removal in either inference studies made.

## INTRODUCCIÓN

La eutrofización de los cuerpos de agua provocada por el aumento de la cantidad de nutrientes (nitratos y fosfatos, principalmente) se ha convertido en un problema en todo el mundo (Burkart, 2002). Este fenómeno está causando el deterioro del ambiente acuático, además de serios problemas para la utilización de esas aguas, especialmente, para procesos de potabilización (Manahan, 2001; Maier, 2009; Anderson, 2002).

El nitrógeno bajo la forma de nitrato, y el fósforo presente como fosfato, son dos elementos claves que aceleran la eutrofización del agua. El excesivo aumento de estos nutrientes induce el crecimiento de algas y otras plantas acuáticas. Pese a que la producción de algas es necesaria como un primer eslabón de la cadena alimentaria del ecosistema acuático, su excesivo crecimiento bajo condiciones eutróficas podría, eventualmente, conducir a un importante deterioro del cuerpo de agua (Yang, 2008; Manahan, 2001).

El Lago Ypacaraí es un cuerpo hídrico ubicado en la República del Paraguay, a unos 48 km de la ciudad de Asunción, entre los departamentos de Cordillera, Paraguari y Central, en la cuenca del río Salado que desemboca en el río Paraguay medio, aguas arriba de Asunción. Este cuerpo de agua constituye una de las riquezas hídricas más importantes del Paraguay. Sobre sus costas se encuentran las ciudades de Areguá, Ypacaraí y San Bernardino, dando marco a actividades de esparcimiento, turismo y arte. Actualmente, se considera que el lago está contaminado con cianobacterias cuya floración es responsable de la masa verduca

**Palabras clave:** Lagos, fosfatos, nitratos, remoción de nutrientes, eutrofización

**Keywords:** Lakes, phosphates, nitrates, removal of nutrients, eutrophication

que se encuentra a lo largo de gran parte del cuerpo de agua (Velázquez y Caballero, 2014), siendo el fenómeno de eutrofización, su mayor amenaza.

Los estudios realizados por diferentes instituciones internacionales y nacionales, han identificado que las principales causas del estado de la cuenca del lago Ypacaraí son:

- La mayor parte de la población que habita zonas aledañas a la cuenca no dispone de un sistema de alcantarillado y tratamiento de efluentes cloacales apropiado, produciéndose el vertido directo sobre los cuerpos de agua superficiales que tributan al lago, o la infiltración a las aguas subterráneas por pozos de infiltración.
- Gran parte de las industrias vierten sus aguas residuales sin tratamiento al lago, y hasta muy recientemente, no se contaba con un sistema de control eficiente sobre estos vertidos.
- Las prácticas de ganadería intensiva sobre las subcuencas y el uso de fertilizantes ricos en nitrógeno y fósforo sobre los terrenos que la integran, también aportan una importante carga contaminante, en este caso de carácter difuso.
- El deterioro y desecamiento de los humedales, con la consiguiente disminución de su capacidad depurativa, y la transformación del suelo que han sufrido amplios sectores de la cuenca, han incrementado los fenómenos de erosión y, consecuentemente, el aporte sedimentario.

Todo esto ha generado un estado de hipereutrofia en las aguas del lago debido al aporte de nutrientes, y una alteración en su dinámica sedimentaria e hidráulica, que a su vez, repercute sobre la calidad de las aguas, llegando a generar un problema de salud pública con implicaciones sociales y económicas para la población que habita la cuenca (SEAM, 2013; Kawai, 2007; Maldonado 2014). Sobre la base de las importantes implicancias que estas dos especies químicas (fosfato y nitrato) representan tanto para el medio ambiente como para la salud humana, es importante realizar estudios que permitan desarrollar procesos para reducir sus niveles en los sistemas acuáticos.

Los métodos convencionales propuestos para el tratamiento de aguas contaminadas, incluyen precipitación, oxidación, reducción, intercambio iónico, filtración, tratamiento electroquímico, tecnologías de membrana y recuperación por evaporación. Estos métodos son costosos e ineficientes, especialmente, cuando la concentración de los contaminantes es muy baja (Evangelow, 1998). Los métodos químicos resultan costosos debido a que el agente activo no puede ser recuperado para su posterior reutilización (Bradl, 2005).

Dentro de las nuevas tecnologías, los procesos adsorptivos presentan un gran potencial, caracterizándose por el uso de materiales baratos, no tóxicos y en algunos casos, biodegradables (Dabrowski, 2001). Las ventajas adicionales de estos tratamientos son su aceptación pública, la posibilidad de poder utilizarse con buen rendimiento bajo condiciones óptimas y controladas, y su bajo costo (Elifanz, 2012). Además, estos métodos de adsorción han demostrado ser útiles para la eliminación de fosfatos y nitratos en las aguas superficiales. Se han estudiado extensamente distintas combinaciones de contaminante/adsorbente y en diversas condiciones experimentales (Atkinson, 1998; Cañizares-Villanueva, 2000; Ferro Orozco, 2007). Por otra parte, estos métodos están especialmente indicados para el tratamiento de aguas naturales contaminadas (Gray, 2001; Pagnanelli, 2003; Miretzky, 2004; Choi, 2011; Xu, 2012; Nhapi, 2011; Xie, 2013). La búsqueda de sistemas que disminuyan la concentración de

nutrientes en los cuerpos de agua, es un buen punto de partida para los intentos de solucionar los problemas de eutrofización, de recuperación de los sistemas acuáticos afectados, y de potabilización de las aguas.

## OBJETIVOS

El presente estudio se centró en los procesos de adsorción de fosfatos y de nitratos, sobre diferentes materiales adsorbentes de origen natural o sintético, como la dolomita (roca sedimentaria) hidroxiapatita (polvo de huesos) y escoria (mezcla de óxidos). Se estudió la selectividad del proceso trabajando con la mezcla de contaminantes, para estudiar las posibles implicancias sobre los procesos individuales que podrían producirse por la presencia simultánea de fosfatos y nitratos en el agua contaminada.

## METODOLOGÍA

Se trabajó con reactores discontinuos de tipo batch, en condiciones controladas de laboratorio a pH  $7,00 \pm 0,20$ ; temperatura de  $25 \pm 2^\circ\text{C}$ , y agitación continua a 200 rpm. Las determinaciones de fosfato se realizaron siguiendo el método estandarizado APHA 4500-P C (APHA, 2012). Este método consiste en determinar la concentración de fosfato mediante la formación del complejo fosfomolibdovanadato, de color amarillo.

La concentración de nitratos se determinó mediante un análisis potenciométrico con un electrodo selectivo de membrana, siguiendo el método estandarizado 4500- $\text{NO}_3^-$  D (APHA, 2012). Para el estudio de las interacciones entre los adsorbentes y los adsorbatos, se recurrió a la espectroscopía infrarroja (FTIR) para investigar posibles modificaciones en la estructura de los grupos funcionales presentes en el adsorbente.

## ACTIVIDADES Y RESULTADOS

En primer lugar, se fijaron las concentraciones de trabajo en 30,0 mg P/L para fosfato y 40 mg N/L para nitrato, según la legislación de la República del Paraguay (SEAM Res N° 222 / 02). Luego se realizó una curva de dosaje para cada adsorbente. Esta metodología permite ajustar la mejor relación adsorbente/sorbato para la realización de los ensayos posteriores y fijar la cantidad de adsorbente necesaria. Para las concentraciones de trabajo, dada la cantidad óptima de adsorbente, resultó de 3.000 mg para dolomita, 600 mg para hidroxiapatita y 4.000 mg para escoria. La mayor capacidad de remoción de fosfato se obtuvo con hidroxiapatita, que resultó de 1,2 mg/g de adsorbente, mientras que la dolomita produjo una remoción de 0,25 mg/g de adsorbente, y la escoria, de 0,07 mg/g de adsorbente. Ninguno de los adsorbentes logró una remoción significativa de nitratos. Los datos obtenidos para fosfato en presencia o ausencia de nitrato, se analizaron según los diferentes modelos de adsorción. Tanto el modelo de Langmuir como el modelo de Freundlich, dieron un buen ajuste de los datos para dolomita y para hidroxiapatita.

En otra etapa del trabajo se realizaron los estudios cinéticos de adsorción de fosfato en presencia o ausencia de nitrato. Estos experimentos se realizaron por triplicado con cada adsorbente (con una masa determinada y constante) con soluciones de distinta concentración a diferentes tiempos de contacto. En todos los casos, el ajuste de los resultados a los diferentes modelos cinéticos, resultó ser concordante con un modelo de pseudo-segundo orden, y el tiempo de equilibrio fue de unos 60 minutos.

La presencia de nitratos no modificó los niveles de remoción de fosfato en ninguno de los estudios de interferencia realizados; así como tampoco modificó los resultados obtenidos en la curva de dosaje.

Los estudios de desorción se realizaron tomando por triplicado, muestras de cada adsorbente previamente tratado con solución de fosfato, de modo tal de asegurar un alto porcentaje de fosfato adsorbido. Luego se pesó la muestra y se agregaron, dentro del reactor batch, 50 mL de H<sub>2</sub>O deionizada o soluciones de NaCl 0,10 M, NaOH 0,10 M y HCl 0,1 M, respectivamente. Para el caso de la dolomita, el mayor porcentaje de desorción de fosfato se obtuvo con NaCl (23,3%). De igual forma, en el caso de la hidroxiapatita, el mayor porcentaje de desorción se obtuvo con NaCl (10,8%). El empleo de HCl en ambos casos, provocó la reacción de la muestra con significativa degradación de la misma. En otra etapa se continuaron los estudios de desorción incrementando la concentración de NaCl a niveles de 0,50 M y 1,00 M. La desorción de fosfatos aumentó hasta un 30,0% para dolomita, pero no se modificó el porcentaje de desorción para el tratamiento de las muestras de hidroxiapatita.

Por comparación de espectros FTIR antes y después de la adsorción de fosfato sobre hidroxiapatita o dolomita, se observaron, principalmente, cambios en las regiones de 1.100 a 1.000 cm<sup>-1</sup> y de 900 a 500 cm<sup>-1</sup>, que confirmarían la interacción de grupos C-O y N-H del adsorbente con los grupos fosfato.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los estudios realizados para conocer la adsorción de fosfato y nitrato sobre dolomita e hidroxiapatita, resultaron válidos para la disminución del primer ion, no así del nitrato. Sin embargo, de estos estudios se puede concluir que la presencia de nitrato en las aguas a tratar, no modifica los resultados en cuanto a la remoción de fosfato. Por otro lado, se sugiere que ambos adsorbentes podrían ser utilizados para el tratamiento de aguas con alto contenido de fosfatos, aunque hay que considerar que sólo la dolomita podría ser recuperada mediante procesos de desorción. Por último, si bien deben continuarse los estudios, en principio, los indicios obtenidos sugieren un mecanismo de intercambio iónico para la adsorción de fosfato en los dos adsorbentes en estudio.

## BIBLIOGRAFÍA

[1] Anderson, D.M., P.M. Gilbert, J.M. Burkholder (2002). Harmful algal blooms and eutrophication: nutrient sources, composition, and consequences. *Estuaries* 25: 704-726.

[2] APHA, AWWA, WPCF (1998). Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, Washington, DC. (2012).

[3] Atkinson, B., Box, F., Kardos, H., *Water SA* 24, 129.

[4] Bradl, H.B. (2005). Heavy metals in the environment. Elsevier.

[5] Burkart, M.R. y J.D. Stoner (2002). Nitrate in aquifers beneath agricultural systems. *Water Sci. Technol.* 45: 19-28.

[6] Callesares-Villaverde R.O. (2006). *Revista Latinoamericana de Microbiología*, 42:131-143 Asociación Latinoamericana de Microbiología.

[7] Choi, J.W., S.G. Chung, S.W. Hong, D.J. Kim, S.H. Lee (2011). Development of adsorbent for the simultaneous removal of organic and inorganic contaminants from aqueous solution. *Water Sci. Technol.* 64, 1821-1827.

[8] Dabrowski A. (2001). Advances in colloid and interface. *Science* 93, 135-224 Adsorption from theory to practice.

[9] Elifant, H. y E. Tel-Or. (2002). Heavy metal biosorption by plant biomass of the macrophyte *Ludwigia stolonifera*. *Water Air Soil Pollut.* 141: 207-218.

[10]唐景隆, V.P. (1998). *Environmental Soil and water Chemistry*. Wiley.

[11] Ferro-Graças, M., Costeira, E., Bertho, N., Zaritsky, N. (2007). *Water SA* 33, 239.

[12] Gray, B.R., W.R. Hill y A.J. Stewart (2001). Effects of development time, biomass and ferromanganese oxides on nickel sorption by stream periphyton. *Environ. Pollut.* 112: 61-71.

[13] Gregg, Zoltán (2008). Mechanisms of toxicity. En: Casarett and Doull's, *Toxicology. The basic science of poisons*. Curtis D. Klassen, Kansas - McGraw Hill, 1157-1187.

[14] Kawai H. (2007). Informe final: Proyecto de control y mejoramiento de la calidad de las aguas del la cuenca del Lago Ypacarai y del Río Paraguarí, IICA SEAM.

[15] Maier, G.; R.J. Nimmo-Smith, G.A. Glegg, A.D. Tappin, P.J. Worsfold (2009). Eutrophication in the UK: current incidence and future trends. *Aquat. Conserv. Marine Freshwater Ecosyst.* 19: 45-56.

[16] Masahan, S. E. (2001). *Fundamentals of environmental chemistry*. Boca Raton. (2001).

[17] Mirotsky, P. A. Saralegui, A. Fernández Cirilli (2004). Aquatic macrophytes potential for the simultaneous removal of heavy metals (Buenos Aires, Argentina). *Chemosphere* 57: 997-1005.

[18] Medina Maldonado, A. Silvio (2010). Informe final sobre los avances del programa fortalecimiento de la gestión para el proceso de ocupación y restauración del lago Ypacarai.

[19] Nhapu L., Banadda N., Marreti R., Sekoms C.B, Wall U.G. (2011). Removal of heavy metals from industrial wastewater using rice husks. *The Open Environmental Engineering Journal*, 4, 170-180 (2011).

[20] Onoike, A.I., G.W. Vanloon (1999). Removal of phosphorus and organic matter removed by alum during wastewater treatment. *Water Res.* 33: 3617-3627.

[21] Pagnanelli, E.; Minelli, S.; Vegli, F.; Toro L. (2005). Heavy metal removal by olive pomace: biosorbent characterization and equilibrium modelling. *Chem. Eng. Sci.* 58: 4709 - 4717.

[22] Raizis, L.; G. Jekong, T.J. Hongqiao (2002). Adsorption of fluoride, phosphate, and arsenate ions on a new type of ion exchange fiber. *J. Colloid Interface Sci.* 248: 268-274.

[23] SEAM. Secretaría del Ambiente de la República del Paraguay. Resolución Nº 222/02 Padrón de calidad de las aguas en el territorio nacional.

[24] Velázquez C., Caballero W. (2010). Lago Ypacarai: aplicación de tecnosedes anti-nutrientes y reducción de cianobacterias. 4.

[25] Xie, J. C. Li, L. Chi, D. Wu (2013). Chitosan modified zeolite as a versatile adsorbent for the removal of different pollutants from water. *Polym* 105: 480-485.

[26] Xu, P.; G.M. Zeng, D.J. Huang, C.J. Feng, S. Hu, M.H. Zhao, Z.H. Liu (2012). Use of iron oxide nanomaterials in wastewater treatment: a review. *Sci. Total Environ.* 424: 1-10.

[27] Yang, X.-E.; X. Wu, H.-L. Hao, Z.J. He (2000). Mechanisms and assessment of water eutrophication. *J. Zhejiang Univ. Sci.* B:9:197-209.

## Sobre los autores:

**Lisa Samudio Legal** es Ingeniera Ambiental, egresada de la Universidad Nacional del Este, Paraguay, y estudiante de la Maestría en Ingeniería Sanitaria en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires (FIUBA) Argentina.

**Andrea Saralegui** es Licenciada en Ciencias Químicas, egresada de la UBA, y Doctorando en el Laboratorio de Química de Sistemas Heterogéneos (LaQuiSiHe) de la FIUBA, donde desempeña tareas docentes y de investigación.

**Natalia Píol** es Doctora y Licenciada en Ciencias Químicas, egresada de la UBA. Se desempeña como docente e investigadora en el LaQuiSiHe-FIUBA.

**Cristina Vázquez** es Doctora y Licenciada en Ciencias Químicas, egresada de la UBA. Se desempeña como docente de la FIUBA y es Codirectora del LaQuiSiHe.

**Susana Boeykens** es Doctora y Licenciada en Ciencias Químicas, egresada de la UBA. Se desempeña como docente de la FIUBA, y es Directora del LaQuiSiHe.

Los autores pueden ser contactados en la dirección electrónica: <mpiol@fi.uba.ar>.