

# Sensores electroquímicos de contaminación y sistemas de alerta temprana

Jorge G. Ibáñez-Cornejo\*

En vista de la gran variedad de contaminantes existentes y sus diversas toxicidades e impactos negativos, la comunidad electroquímica se ha propuesto desarrollar sensores para controlar la contaminación en tiempo real y en una gama amplia de entornos (Cretescu et al., 2017). Debido a la facilidad intrínseca de las celdas electroquímicas para su miniaturización y el desarrollo exponencial en electrónica, ya hay disponibles sensores/circuitos autónomos que se adaptan muy bien a la variabilidad espacial y la exposición personal, y que son de bajo costo, portátiles, sensibles, reproducibles, de respuesta rápida, de baja potencia, e inalámbricos (WiFi / Bluetooth) (Kumar et al., 2015; Lewis and Edwards, 2016; Piedrahita et al., 2014; Yi et al., 2015). Los métodos electroquímicos ofrecen costos más bajos y equipos menos sofisticados que sus contrapartes ópticas (Verestiuc et al., 2014). Se han reportado electrosensores de bajo costo \$5-100 USD (Lewis and Edwards, 2016; Piedrahita et al., 2014). Así, se hace factible una gran cobertura geográfica (Yi et al., 2015). A pesar de los desafíos relacionados con la sensibilidad cruzada con otros gases, así como a la temperatura y la humedad, y su susceptibilidad al envenenamiento, los desarrollos en el campo de la detección de gases son sobresalientes. Estos sensores funcionan con una variedad de principios operativos, principalmente como resultado de los cambios experimentados por un elemento sensor durante la adsorción o reacción del gas objetivo. Las respuestas observadas son generalmente consecuencias de cambios inducidos en la resistencia, impedancia, capacitancia, conductancia, polarización, función trabajo, potencial, o corriente en el sistema (Kumar et al., 2015; Piedrahita et al., 2014).

## Sensores basados en intercambio de electrones

Desde una perspectiva electroquímica, los sensores basados en reacciones de oxidación-reducción responden a los mismos principios que los involucrados en varios de métodos de remediación electroquímica (Radjenovic and Sedlak, 2015; Zheng et al., 2017). Las reacciones redox resultantes (ya sea en electrolitos líquidos o sólidos) inducen picos de corriente específicos cuyas magnitudes son proporcionales a las concentraciones de los analitos electroactivos (Pandey et al., 2012). Los métodos más comunes incluyen amperometría, potenciometría, voltamperometría cíclica, y mediciones de impedancia (Pandey et al., 2012). Por ejemplo, los sensores de electrolitos sólidos que utilizan perturbaciones voltamperométricas cíclicas responden a la magnitud de la concentración de diferentes gases adsorbidos en el electrolito provocados por las reacciones redox. Este tipo de sensor de electrolito sólido se ha utilizado por ejemplo en la detección de  $\text{NO}_x$  y  $\text{SO}_x$  (Kumar et al., 2015).

Los sensores basados en los cambios de resistencia eléctrica también pueden depender indirectamente de las reacciones redox.

Por ejemplo, el oxígeno molecular puede oxidar a gases reductores sobre la superficie de óxidos semiconductores tipo  $n$  ( $n$ -SC  $\text{MO}_x$ ). Esto libera electrones y disminuye la cantidad de iones óxido en la red del  $n$ -SC, lo que disminuye la resistencia del sensor de manera proporcional a la concentración del gas reductor objetivo (Cretescu et al., 2017; Piedrahita et al., 2014). Se ha monitoreado al CO de esta manera (Piedrahita et al., 2014). Asimismo, hay sensores de  $\text{O}_3$  disponibles, aunque muestran una sensibilidad cruzada significativa hacia el  $\text{H}_2\text{S}$  y  $\text{NO}_2$  (Alphasense, 2019). Los gases  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{H}_4$ ,  $\text{CS}_2$  y  $\text{NO}_x$  también son susceptibles de detección electroquímica (Pandey et al., 2012; Piedrahita et al., 2014; Yi et al., 2015). Algunos sensores electroquímicos se pueden optimizar mediante la inserción de membranas para mejorar la selectividad, y de superficies catalíticamente activas para facilitar la etapa de detección (Cretescu et al., 2017; Pandey et al., 2012). Recientemente se han utilizado polímeros conductores como elementos sensores (Ibanez et al., 2018; Pandey et al., 2012).

Además del monitoreo de contaminantes en la fase gaseosa, los sensores para el medio marino son de importancia fundamental pues éste juega un papel clave en la regulación del clima global, principalmente como fuente de biodiversidad (Justino et al., 2015).

## Sistemas de alerta temprana

Aunados al desarrollo de sensores, los sistemas de alerta de respuesta rápida (o *sistemas de alerta temprana*) son necesarios para prevenir daños graves a la salud humana y animal, al medio ambiente en general, y a los materiales (Dzyadevych et al., 2005). Por ejemplo, se ha desarrollado un sistema de alerta para evitar la descarga de Hg en aguas superficiales en el caso de un aumento accidental en la concentración de Hg (Verestiuc et al., 2014), con la idea de extenderlo hacia aplicaciones atmosféricas y a suelos. También se han desarrollado biosensores potenciométricos y conductométricos basados en colinesterasas inmovilizadas para la detección temprana de algunos pesticidas organofosforados (p. ej., metilparatión, metilparaoxón, etilparaoxón, triclorfón, diisopropilfluorofosfatos) y carbamatos (p. ej., carbofurán) a través de mecanismos de inhibición de enzimas (Dzyadevych et al., 2005).

De estos ejemplos queda claro que estamos frente a una necesidad vital y, aunque hay avances significativos, aún queda mucho trabajo por hacer.

Universidad Iberoamericana, Depto. de Ing. Química, Industrial y de Alimentos, Prol. Reforma 880, 01219, Ciudad de México.  
\*jorge.ibanez@ibero.mx

## Referencias

1. Alphasense Co., O<sub>3</sub> sensor. <http://pdf.directindustry.com/pdf/alphasense/o3-a4/16860-592348.html>. (Fecha de acceso: 8 Enero 2019).
2. Cretescu, I., Lutic, D., Manea, L.R., 2017. Electrochemical sensors for monitoring of indoor and outdoor air pollution. Chapter 4 in: "Electrochemical Sensors Technology", Rahman, M.M., Asiri, A.M. Eds. Intech, Rijeka (Croacia).
3. Dzyadevych, S.V., Soldatkin, A.P., Arkhypova, V.N., El'skaya, A.V., Chovelon, J.-M., Georgiou, C.A., Martelet, C., Jaffrezic-Renault, N., 2005. Early-warning electrochemical biosensor system for environmental monitoring based on enzyme inhibition. *Sens. Actuators, B* 105, 81–87.
4. Ibanez, J.G., Rincón-González, M., Gutierrez-Granados, S., Chahma, M., Jaramillo-Quintero, O., Frontana-Urbe, B., 2018. Conducting polymers in the fields of energy, environmental remediation, and chemical-chiral sensors. *Chem. Rev.* 118, 4731–4816.
5. Justino, C.I.L., Freitas, A.C., Duarte, A.C., Rocha-Santos, T.A.P., 2015. Sensors and biosensors for monitoring marine contaminants. *TrAC, Trends Anal. Chem.* 6–7, 21–30.
6. Kumar, P., Morawska, L., Martani, C., Biskos, G., Neophytou, M., Di Sabatino, S., Bell, M., Norford, L., Britter, R., 2015. The rise of low-cost sensing for managing air pollution in cities. *Environ. Int.* 75, 199–205.
7. Lewis, A., Edwards, P., 2016. Validate personal air-pollution sensors. *Nature* 535, 29–31.
8. Pandey, S.K., Kim, K.-H., Tang, K.-T., 2012. A review of sensor-based methods for monitoring hydrogen sulfide. *TrAC, Trends Anal. Chem.* 32, 87–99.
9. Piedrahita, R., Xiang, Y., Masson, N., Ortega, J., Collier, A., Jiang, Y., Li, K., Dick, R.P., Lv, Q., Hannigan, M., Shang, L., 2014. The next generation of low-cost personal air quality sensors for quantitative exposure monitoring. *Atmos. Meas. Tech.* 7, 3325–3336.
10. Radjenovic, J., Sedlak, D.L., 2015. Challenges and opportunities for electrochemical processes as next-generation technologies for the treatment of contaminated water. *Environ. Sci. Technol.* 49, 11292–11302.
11. Verestiuc, P.-C., Cretescu, I., Tucaliuc, O.-M., Breaban, I.-G., Nemtoi, G., 2014. Voltammetric studies on mercury behavior in different aqueous solutions for further development of a warning system designed for environmental monitoring. *J. Electrochem. Sci. Eng.* 4, 177–186.
12. Yi, W.Y., Lo, K.M., Mak, T., Leung, K.S., Leung, Y., Meng, M.L., 2015. A survey of wireless sensor network based air pollution monitoring systems. *Sensors* 15, 31392–31427.
13. Zheng, T., Wang, J., Wang, Q., Meng, H., Wang, L., 2017. Research trends in electrochemical technology for water and wastewater treatment. *Appl. Water Sci.* 7, 13–30.



# Visita la Expoquímica 2019

Del 30 de septiembre al 3 de octubre  
Complejo Cultural Universitario, BUAP  
Pue., Puebla, México.



**aspelab**<sup>®</sup>  
*Asesorarlo para invertir*

En Aspelab nos dedicamos desde hace más de 20 años a la comercialización, asesoramiento, capacitación y mantenimiento de equipos, mobiliario y reactivos para laboratorio. Contamos con presencia comercial en toda la República Mexicana.



**EMYR**  
PRODUCTOS de LABORATORIO

EMYR es una empresa fundada en 1984. Distribuidora de marcas de prestigio en equipo y biotecnología con presencia en Guadalajara, Puebla y en Ciudad de México.

[www.sqm.org.mx](http://www.sqm.org.mx) | [congresos@sqm.org.mx](mailto:congresos@sqm.org.mx)  
tel. 56626823