

La ciencia en la vida cotidiana

Líquidos iónicos: solventes a la medida

Pérez-Pimienta, J. A.^{1*}, Jara-Cortés J¹

Los líquidos iónicos, corresponden a un grupo de sales líquidas a baja temperatura (~25°C). Desde su descubrimiento a principios del siglo XX, se ha investigado su uso en campos como la química, las ciencias biológicas y la medicina. Por ello, hoy en día es posible encontrar una diversidad de aplicaciones, que van desde su uso como solventes o lubricantes, agentes desinfectantes, en la liberación controlada de fármacos, herbicidas y como reguladores de crecimiento de las plantas, entre otros. Esta versatilidad se debe a que los líquidos iónicos pueden considerarse como “solventes de diseño” o, hechos a la medida; ya que muchas de las propiedades fisicoquímicas pueden ajustarse para aplicaciones específicas, gracias al fácil intercambio de cationes o aniones y/o a la funcionalización química.

Palabras clave:

Líquidos iónicos, energía, solventes



Licencia de contenido de Pexels

¹ Unidad Académica de Ciencias Básicas e Ingenierías, Universidad Autónoma de Nayarit, México.

***Autor de correspondencia:**

Pérez-Pimienta José. Unidad Académica de Ciencias Básicas e Ingenierías. Universidad Autónoma de Nayarit. Ciudad de la Cultura “Amado Nervo”. C.P. 63000, Tepic, Nayarit, México. Teléfono (311) 118-50-68. E-mail:

Recibido: 29 de mayo de 2025

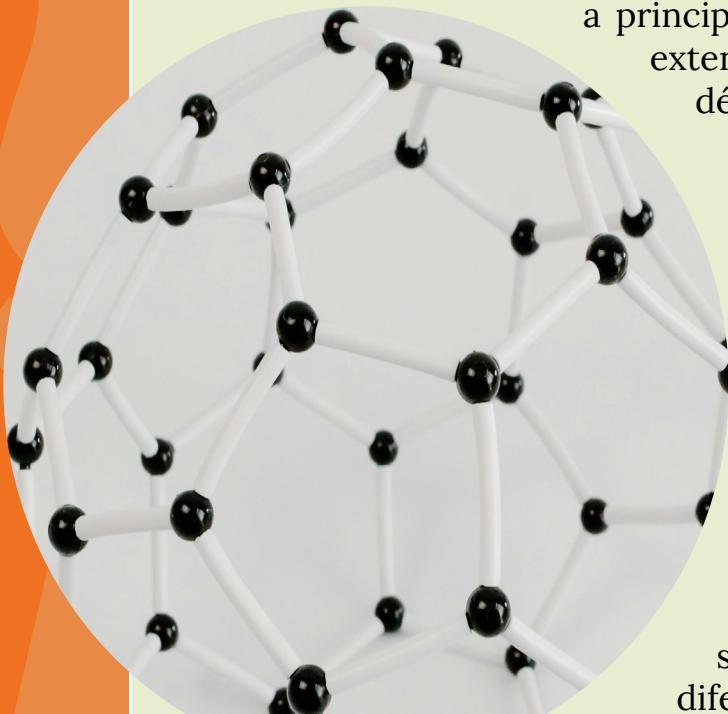
Aceptado: 18 de Julio de 2025

Publicación: 30 octubre de 2025

Cómo citar este artículo:

Pérez-Pimienta, J. A., Jara-Cortés, J. (2025) Líquidos iónicos: solventes a la medida, Revista Pardalis, 1, e0020

Los líquidos iónicos (LI) o sales líquidas, son compuestos que se funden a temperaturas menores a los 100 °C. La gran mayoría de los LI presentan bajas presiones de vapor; es decir, son poco volátiles, por lo que no se evaporan bajo calentamiento sostenido a temperaturas moderadas. Por esta razón, han sido utilizados como disolventes en diferentes procesos dentro de la industria química. Aunque los LI se descubrieron a principios del siglo XX, su uso extensivo comenzó en la década de 1980, siendo una alternativa ecológica al uso del hexano, benceno, tolueno y xileno, que son tóxicos, volátiles e inflamables. Posteriormente, la facilidad de poder ajustar las propiedades de los LI al modificar sus componentes, fomentó su estudio y aplicación en diferentes campos.



Licencia de contenido de Pexels



La apariencia de los líquidos Iónicos (LI) es muy similar a la de muchos líquidos comunes, por lo que no pueden diferenciarse de estos a simple vista. Los LI han encontrado diversas aplicaciones en diferentes áreas de la química desde la orgánica, donde se utilizan como catalizadores y disolventes para la síntesis, hasta el campo médico, que incluye el uso de LI como ingredientes farmacéuticos activos o como aditivos para biomateriales. Desde el punto de vista de la química analítica, los LI pueden utilizarse en extracciones, separaciones como sensores, entre otros. En el ámbito industrial, los

LI se utilizan para llevar a cabo la destilación extractiva, en电解质, almacenamiento de gases, cloración, fluoración, limpieza de fluidos entre otros (ver Fig. 1).

¿De qué están formados los líquidos iónicos?

Los LI están formados por un par de fragmentos atómicos y/o moleculares con carga positiva o negativa, que se conocen como cationes y aniones. La naturaleza de dichos constituyentes puede ser de origen orgánico y/o inorgánico. Aunque la estructura de los LI es similar a la de muchas

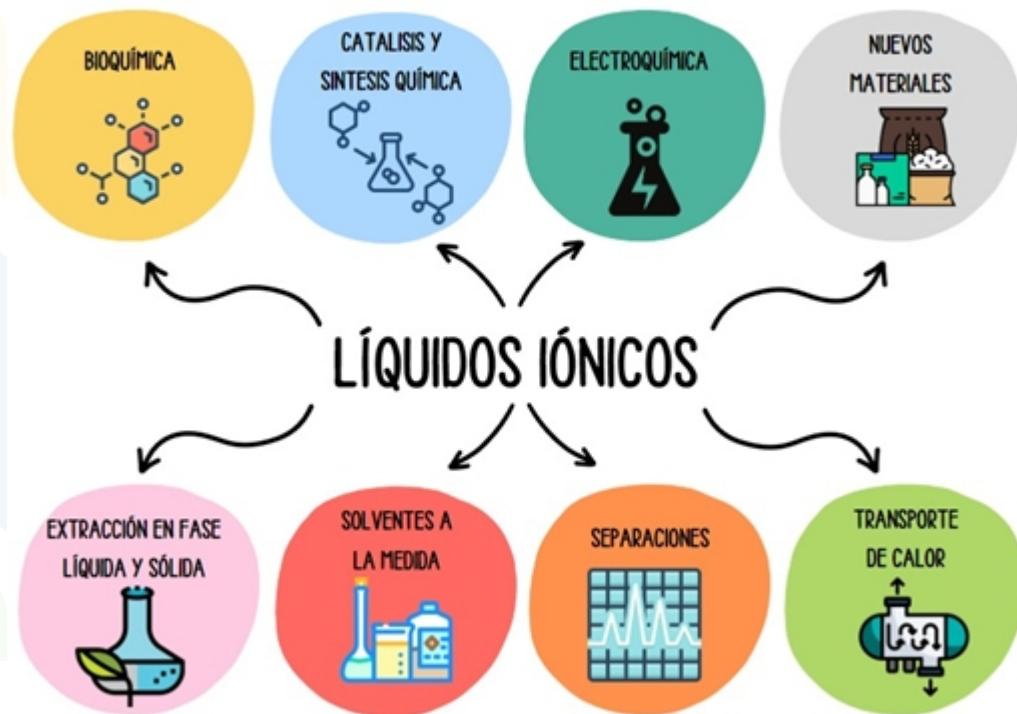


Figura 1. Aplicaciones de los líquidos iónicos.

Fuente: Elaboración propia.

sales ordinarias, como el cloruro de sodio (sal de mesa, NaCl), se distinguen notablemente de estas en su naturaleza líquida a bajas temperaturas. Esto tiene su origen en las diferencias en magnitud en las interacciones electrostáticas, que son mucho más fuertes en los sólidos como para mantener a los fragmentos unidos en posiciones fijas; mientras que, en los LI, aunque los pares iónicos se mantienen relativamente unidos, presentan mayor desorden. Una característica común de los LI es su bajo punto de fusión (temperatura a la que un sólido se vuelve líquido), sin embargo,

el intercambio del anión o el catión puede generar una amplia variedad de combinaciones posibles de LI con propiedades fisicoquímicas ajustables (ver Fig. 2).

¿Cómo se sintetizan los líquidos iónicos?

Los LI pueden sintetizarse a partir de diferentes combinaciones de un catión y un anión, para formar una estructura molecular que sea líquida a temperatura ambiente. Cabe destacar que la síntesis de LI puede ser bastante flexible, permitiendo la modificación de los cationes y

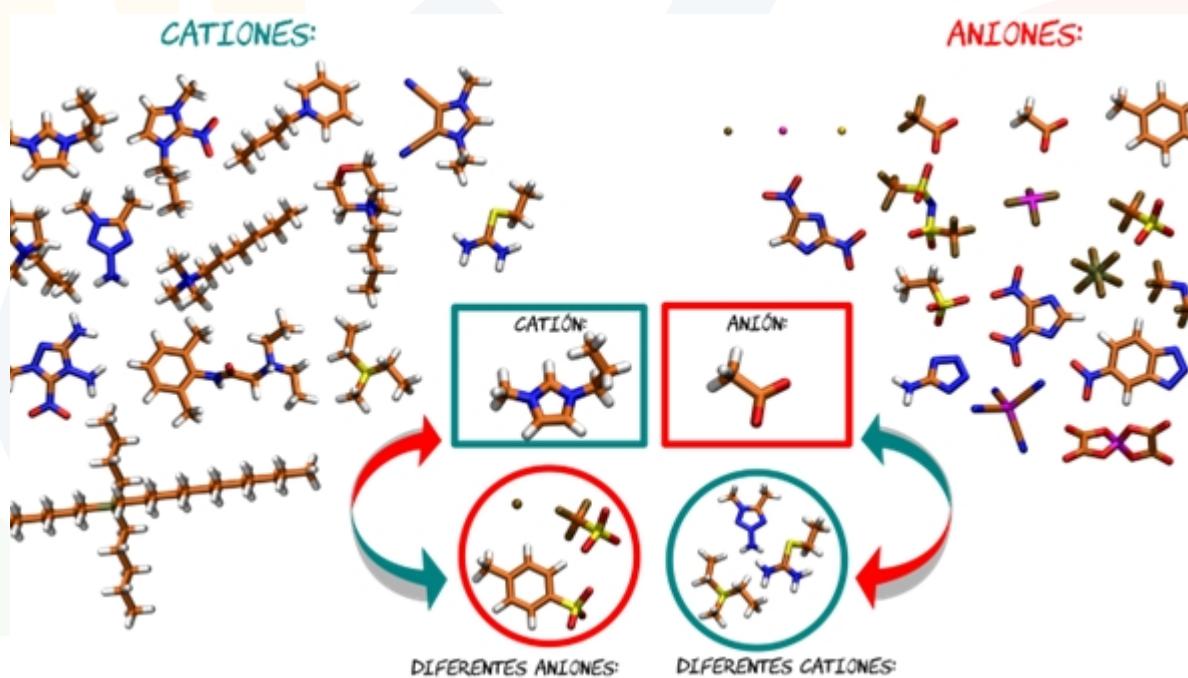


Figura 2. Estructuras moleculares representativas de iones orgánicos e inorgánicos involucrados en la formación de líquidos iónicos.

Fuente: Elaboración propia



aniones para obtener propiedades deseadas como baja volatilidad, alta conductividad, solubilidad selectiva, entre otras. Incluyendo, además, la posibilidad de combinar de tres o más iones únicos en su rango miscible para formar los llamados LI de sal doble (Shamshina et al., 2019).

¿Por qué funcionan como solventes?

Un disolvente es una sustancia capaz de separar o disociar otra (soluto) para formar una mezcla homogénea (solución). Por ejemplo, si se adiciona sal de mesa (NaCl) en agua, los iones sodio (Na^+) generados por la disociación del NaCl , tienden a ser atraídos por la parte con carga negativa de algunas moléculas de agua (H_2O), mientras que los iones cloro (Cl^-) son atraídos por la parte con carga positiva de otras moléculas de H_2O . Mediante esta atracción sucesiva de los iones que componen la red cristalina de la sal por parte de las moléculas de agua, la sal gradualmente se separa (ver Fig. 3). En el caso de los LI, estos son capaces de disolver una enorme cantidad de compuestos orgánicos, e inorgánicos. En el caso de la celulosa, esta es insoluble en agua, pero cuando se usan LI, como el acetato de 1-etil-3-metilimidazolio [$\text{C}_2\text{mim}][\text{OAc}]$, afectan la disolución de la celulosa al perturbar y romper la red intramolecular de enlaces hidrógeno (ver Fig. 3).

¿Cómo se diseñan mejores solventes?

En la actualidad, existen diversos planteamientos para la búsqueda de nuevos LI con propiedades mejoradas. El enfoque por fuerza bruta implica sintetizar, a partir de un grupo de cationes y aniones, todas las combinaciones de LI posibles; y posteriormente, medir experimentalmente sus propiedades en relación a una aplicación específica y, en términos de ello, elegir el mejor candidato. Sin embargo, dada la vasta posibilidad de combinaciones de cationes y aniones, esto demanda una gran cantidad de recursos económicos y humanos. Un enfoque que ha ganado mucha popularidad, involucra el uso de las herramientas de la química computacional para la realización de simulaciones que permitan predecir las propiedades de los LI. Esto ha acelerado el descubrimiento de LI con propiedades optimizadas (solventes a la medida), ya que permite generar datos de propiedades fisicoquímicas con una precisión aceptable, mediante la selección de una combinación precisa de aniones y cationes para nuevos LI sintetizados (Figura 4). Entre las propiedades que se pueden evaluar, se encuentran la densidad, viscosidad, tensión superficial, la estabilidad térmica, capacidad calorífica y poder de solvatación. En última instancia la síntesis es indispensable para evaluar el rendimiento del LI en función de una aplicación específica (por ejemplo,

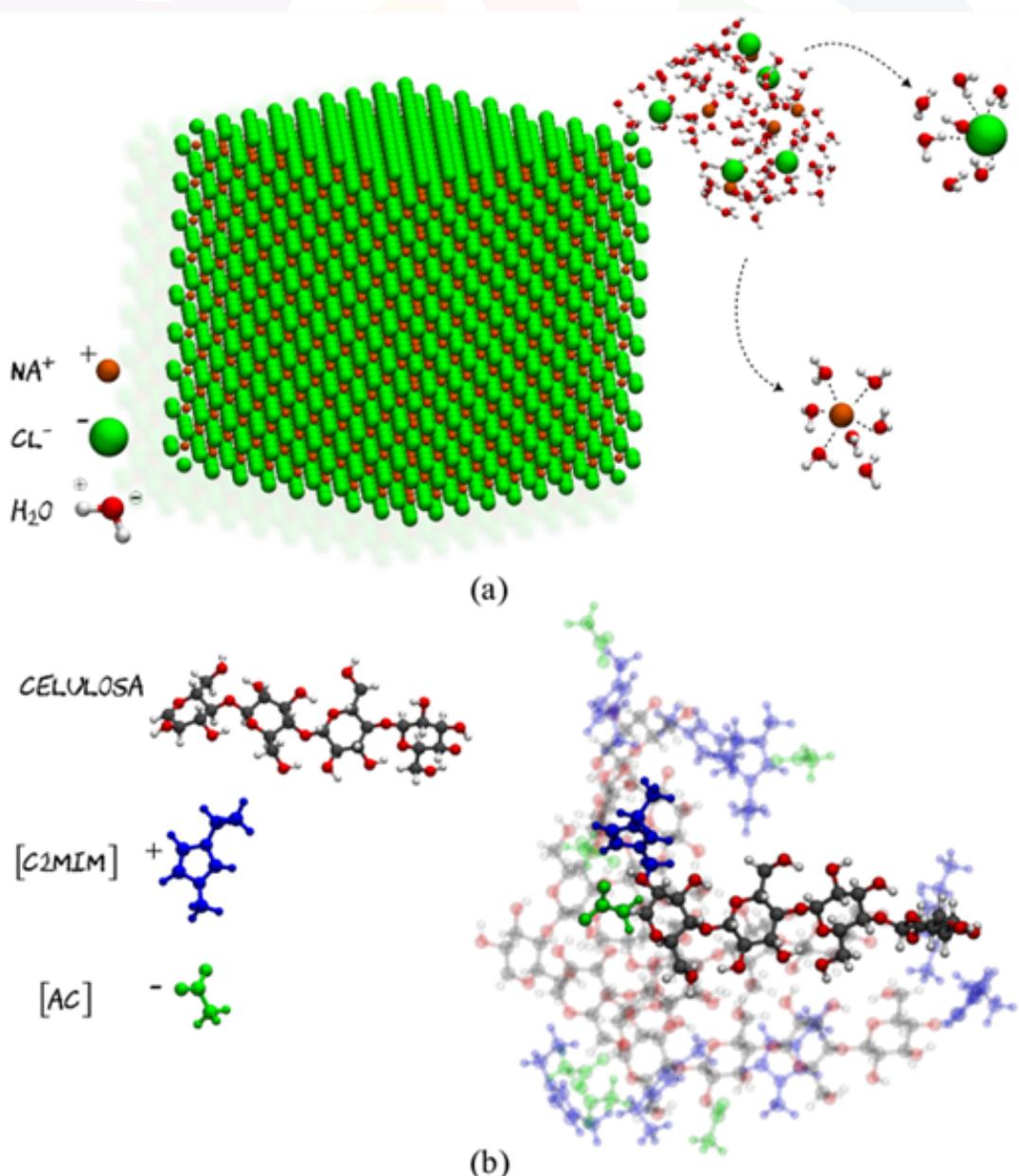


Figura 3. Los iones producidos en la dissociación son atraídos por las moléculas del disolvente.

Fuente: Elaboración propia.



bioquímica o electroquímica), las simulaciones permiten enfocar los esfuerzos sobre el grupo específico y reducido de cationes y aniones que mostraron el mejor grupo de propiedades y, con ello, permiten ahorrar tiempo y recursos.

Uso de los LI para la extracción de los componentes de la biomasa

La biomasa lignocelulósica, es la materia prima más abundante disponible en la Tierra para la producción de productos químicos,

tales como biocombustibles. Los residuos remanentes del procesado de plantas (bagazo) son de gran importancia, debido a que, al quedar fuera de la cadena de consumo, proporciona una materia prima barata y abundante. El principal reto constituye la síntesis de nuevos solventes que permitan extraer y separar sus constituyentes. Los LI han demostrado ser disolventes eficientes para la disolución de biomasa lignocelulósica (referida a materia seca vegetal como maderas,

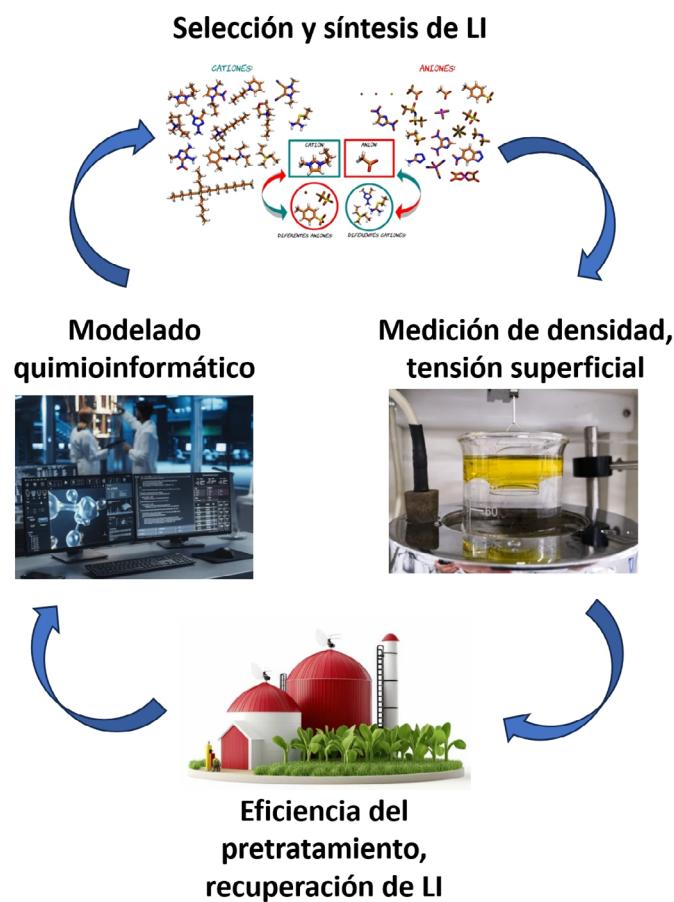


Figura 4. Descubrir y seleccionar líquidos iónicos de bajo costo y alto rendimiento.

Fuente: Elaboración propia.

residuos agroindustriales y pastos) con una sencilla recuperación de celulosa tras la adición de un antisolvente (por ejemplo, agua o acetona). Esto permite obtener resultados altamente eficientes para la disolución/recuperación de celulosa y remoción de lignina con el LI aprótico $[C2mim][OAc]$, esto debido a la correlación entre la basicidad del enlace hidrógeno del anión y la capacidad de solvatación de los LI para hinchar y disolver la biomasa lignocelulósica, sin embargo, su aplicación se ve limitada por su elevado costo y relativa toxicidad. Nuevas investigaciones, han estudiado a los LI próticos para superar estos obstáculos cuya síntesis es más sencilla y económica; por ejemplo, el $[C2mim][OAc]$ tiene un costo superior a \$50usd/kg mientras que un LI prótico eficiente como el acetato de 2-hidroxietilamonio ($[2-HEA][OAc]$) tiene un costo de \$0.7 a 1.5 usd/kg con eficiencias de disolución de celulosa comparables.

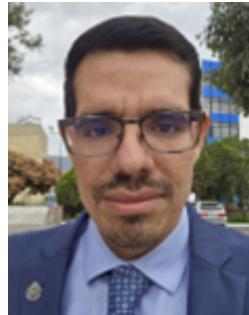
Conclusión

El creciente interés por emplear a los LI en investigación y desarrollo, así como en procesos a escala comercial no es solo debido a su rol “ecológico”, sino también debido a otras propiedades ventajosas como baja volatilidad e inflamabilidad. El hecho de que los LI estén compuestos íntegramente por iones

ha propiciado su comercialización en aplicaciones en las que se requieren altas estabilidades/conductividades electroquímicas y térmicas, propiedades inigualables por otros materiales puros. Aún suelen ser más caros que los disolventes convencionales, pero el aumento inicial del precio de capital puede compensarse con mejoras en la reciclabilidad de los disolventes, la recuperación de catalizadores, la velocidad de reacción, la selectividad y la separación de productos (González Abrego et al., 2015). Las fuertes propiedades de solvatación y su naturaleza ajustable pueden ofrecer ventajas significativas en comparación con los disolventes convencionales, sin embargo, la sustitución directa de los LI en un proceso no suele producirse sin una mayor consideración de la compatibilidad del proceso. Finalmente, vale la pena señalar que el precio de las LI está disminuyendo constantemente con el desarrollo de rutas de síntesis novedosas y escalables, y se estima que algunos LIP tienen ahora un precio similar al de los disolventes orgánicos convencionales, lo que abre la posibilidad de seguir explorando estos materiales en aplicaciones industriales (Vega et al., 2014).



Quien escribe



Dr. José Antonio Pérez Pimienta

Ingeniero Químico Industrial por la Universidad Autónoma de Nayarit. Maestría en Biotecnología y Doctorado en Ciencias en Ingeniería por el CINVESTAV-IPN. Pertenece al Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (Nivel I) y cuenta con el Reconocimiento a Profesores de Tiempo Completo con Perfil Deseable (PRODEP-SEP).



Dr. Jesús Jara-Cortés

Ingeniero químico por la Universidad Autónoma de Nayarit. Maestría y doctorado en Ciencias Químicas por la UNAM. Pertenece al Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (Nivel I) y cuenta con el Reconocimiento a Profesores de Tiempo Completo con Perfil Deseable (PRODEP-SEP).

Referencias

- » González Abrego, D.O., Cario Granillo, M., Zuno Cruz, F.J., Sánchez Cabrera, G. (2015). Líquidos iónicos: sales cuaternarias de amonio, compuestos que no pasan de moda. Boletín Científico Ciencias Básicas e Ing. del ICBI 3, 1-5. <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icbi/article/download/560/3470>
- » Shamshina, J.L., Zavgorodnya, O., Rogers, R.D. (2019). Ionic liquids, 3rd ed, Encyclopedia of Analytical Science. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409547-2.13931-9>.
- » Vega, A.F., Palou, E., Ramírez-Corona, N., Malo, A.L. (2014). Líquidos iónicos: una alternativa “verde” para procesos de extracción en la industria de alimentos. Temas Sel. Ing. Aliment. 8, 15-26.

Lecturas recomendadas

- » Suárez Herrera, M. F. (2019). Introducción a los conceptos fundamentales de química una aproximación fisicoquímica. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia.

Conflictivo de interés

Los autores declaran no tener conflicto de interés.