

LÍQUIDOS IÓNICOS Y SU IMPORTANCIA EN LA EXTRACCIÓN DE METALES
EN AGUAS RESIDUALES

DIANA CAROLINA ARANGUREN BENITEZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS, ESCUELA DE QUÍMICA
ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA AMBIENTAL
BUCARAMANGA

2016

LÍQUIDOS IÓNICOS Y SU IMPORTANCIA EN LA EXTRACCIÓN DE METALES
EN AGUAS RESIDUALES

DIANA CAROLINA ARANGUREN BENITEZ

Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de
Especialista en Química Ambiental

Directora

Ph.D en Química. LUZ ANGELA CARREÑO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS, ESCUELA DE QUÍMICA
ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA AMBIENTAL
BUCARAMANGA

2016

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a la vida por darme la oportunidad de vivir esta experiencia y permitir finalizar esta etapa.

Gracias a mi Madre, por su apoyo incondicional, consejos y motivación. Sin ella esta oportunidad no hubiera sido posible.

Agradezco a mi familia por todo su apoyo durante este proceso.

A Jorge, porque a pesar que no hagas parte de la misma forma de mi vida, durante todo un año no solo me diste ánimos para afrontar este reto, si no también me apoyaste de muchas maneras, siendo mi compañía y también una gran motivación.

Un agradecimiento muy especial a mi directora Luz Ángela Carreño, por todo su apoyo y guía para la elaboración de esta monografía.

Finalmente, gracias a todas las personas que de una u otra manera ayudaron a finalizar esta meta.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	15
1. LA MOLECULA DEL AGUA Y LAS AGUAS RESIDULES	17
2. METALES PESADOS	24
2.1 EL PLOMO (Pb).....	24
2.2 EL MERCURIO (Hg).....	26
2.3 EL CADMIO (Cd)	27
2.3 EL ZINC (Zn).....	30
3. REMOCIÓN DE METALES.....	32
4. QUIMICA VERDE	37
5. LÍQUIDOS IÓNICOS.....	41
5.1 PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS	43
5.1.1 Coloración.....	43
5.1.2 Punto de fusión.....	43
5.1.3 Punto de ebullición y estabilidad térmica.	44
5.1.4 Densidad.....	45
5.1.5 Viscosidad.....	47
5.2 PROPIEDADES ELECTROQUÍMICAS	47
5.2.1 Potencial de hidrogeno pH.....	47
6. APLICACIONES DE LOS LÍQUIDOS IÓNICOS	49
6.1 DISOLVENTES EN REACCIONES QUÍMICAS.....	49
7. LÍQUIDOS IÓNICOS COMO EXTRACTANTES DE METALES	52

8. CONCLUSIONES57

9. REFERENCIAS58

BIBLIOGRAFIA.....65

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Flujo de las emisiones naturales y antropogénicas de algunos metales (tn/ año).....	22
Tabla 2. Ejemplos de procesos de eliminación de algunos metales en las aguas	34
Tabla 3. Puntos de fusión de varias sales de cloruro	43
Tabla 4. . Influencia de diferentes aniones sobre el punto de fusión de líquidos iónicos tipo imidazolio	44
Tabla 5. Datos de densidad para el catión imidazolio	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Molécula del agua.....	17
Figura 2.	Aguas Residuales.....	19
Figura 3.	El Salto y Juanacatlán, Jalisco.....	24
Figura 4.	Minería ilegal en Quilichao.....	26
Figura 5.	Horno utilizado en la metalurgia.....	27
Figura 6.	Pieza de Zn.....	30
Figura 7.	Laguna Yanacocha antes y después de la intervención de la minería.....	36
Figura 8.	Deterioro de capa de ozono.....	40
Figura 9.	Cationes más comunes que conforman los líquidos iónicos.....	41
Figura 10.	Aniones más comunes que conforman los líquidos iónicos.....	42
Figura 11.	Catión y anión de un líquido iónico.....	42
Figura 12.	. Aplicaciones líquidos iónicos.....	50

LISTA DE GRAFICAS

- Gráfica 1. Fuentes de Cadmio.....29
- Gráfica 2. Dependencia de la densidad del líquido iónico 1-R-3-metilimidazolio tetracloroaluminato [RMIMAICl₄] sobre el tipo de radical alquilo utilizado [R], mediciones realizadas a 60 °C, fracción molar X(AlCl₄) .45

LISTA DE ABREVIATURAS

VOCs	volatile organic compounds
LI	Líquido Iónico
H ₂ O	Agua
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia
Cr	Cromo
Cu	Cobre
Pb	Plomo
Mn	Manganeso
Ni	Níquel
V	Vanadio
Zn	Zinc
As	Arsénico
Sb	Antimonio
Se	Selenio
Hg	Mercurio
Cd	Cadmio
CO ₂	Dióxido de carbono
PbCO ₃	Carbonato de plomo (II)
Pb(OH) ₃	Hidróxido de plomo (III)

Na_2CO_3	Carbonato de sodio
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	Hidróxido de calcio
HgS	Sulfuro de mercurio
H_2S	Ácido sulfhídrico
$\text{Zn}(\text{OH})_2$	Hidróxido de zinc
ZnS	Sulfuro de zinc
(EMIM) Cl-AlCl_3	1-etil-3-metilimidazolio/cloruro de aluminio (III)
(NBUPY) Cl-AlCl_3	Cloruro de n-butilpiridinio/cloruro de aluminio (III)
NaCl	Cloruro de sodio
KCl	Cloruro de potasio
[EMIM] $[\text{BF}_4]$	Tetrafluoroborato de 1-etil-3-metilimidazolio
(PMMA)	poli-metil metacrilato
PVC	poli-cloruro de vinilo
[BMIM] PF_6	Hexafluorofosfato de 1-butil-3-metilimidazolio

RESUMEN

TÍTULO: LÍQUIDOS IÓNICOS Y SU IMPORTANCIA EN LA EXTRACCIÓN DE METALES EN AGUAS RESIDUALES*

AUTOR: ARANGUREN, Benítez Diana Carolina **

PALABRAS CLAVES: Contaminación del agua, aguas residuales, metales pesados, química verde, líquidos iónicos

DESCRIPCIÓN

Los metales pesados son sustancias propias de la naturaleza, se encuentran distribuidos de manera equitativa, en el planeta y tienen aplicación en diferentes industrias.¹ Cuando estos elementos no se disponen adecuadamente o cuando su distribución en la naturaleza se altera mediante actividades humanas se convierten en contaminantes para el medio ambiente. A nivel industrial se generan debido a actividades tales como la extracción minera, liberación de emisiones industriales; entre otros. La exposición de residuos metálicos ha ocasionado la contaminación del suelo, el agua superficial, subterránea y el aire.

Es importante señalar que elementos como selenio, mercurio y manganeso son emitidos por fuentes en su mayoría naturales en algunas formas inorgánicas, sin embargo, por actividades antrópicas industriales, se genera una acumulación de estos metales usados en procesos productivos, los cuales se convierten en contaminantes peligrosos.²

Uno de los mayores problemas en la extracción de metales con solventes orgánicos tradicionales, es que presentan inconvenientes como la baja selectividad y volatilidad, el costo además de la contaminación del medio ambiente, la cual es provocada por la pérdida del solvente a la atmósfera. Gran parte de los disolventes usados en la industria "se pierden en el aire".

Dentro del desarrollo en la búsqueda de soluciones amigables con el medio ambiente, está la opción del uso de los "líquidos iónicos o solventes verdes"; los cuales están formados por especies iónicas. Dentro de las grandes ventajas de estos compuestos están sus propiedades físicas. Debido a estas ventajas, los líquidos iónicos son grandes candidatos para su uso como extractantes de iones metálicos.³

En esta monografía se presenta una revisión bibliográfica que incluye fuentes y toxicidad de algunos de estos metales pesados, permitiendo evidenciar la necesidad de estudiar su extracción por medio de compuestos que logren tal objetivo y que tengan como valor el cuidado del medio ambiente.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ciencias, Escuela de Química. Especialización en Química Ambiental. Directora Dr. Luz Angela Carreño

ABSTRACT

TITLE: IONIC LIQUIDS AND THEIR IMPORTANCE IN THE EXTRACTION OF METALS IN WASTEWATER

AUTHOR: ARANGUREN, Benítez Diana Carolina

KEYWORDS: Water pollution, sewage, heavy metals, green chemistry, ionic liquids

DESCRIPTION

Heavy metals are nature's own substances, they can be found evenly distributed or uniform on the planet and they have application in different industries.¹ When these elements are not properly discharged or when their distribution in nature is altered by human activities they become contaminants to the environment. At industrial level, they may be generated due to activities such as mining, release of industrial emissions; among others. Exposure of metal waste has caused pollution of soil, surface and groundwater, air and water environments.

It is important to note that elements such as selenium, mercury and manganese are emitted by sources mostly natural in some inorganic forms, however, by human industrial activities, an accumulation of these metals used in production processes is generated, which become in pollutants dangerous to the environment and the population.²

One of the biggest problems in the extraction of metals with traditional methods is that they show disadvantages such as low selectivity, high costs and, on the other hand, the environmental pollution.

Within the development in the search for friendly solutions with the environment, there is option of using "green ionic liquids"; which are formed by ionic species. Within the great advantages of these compounds are their physical properties such as the non-volatility, the fact that they can be tailored, and its thermal stability among others. Because of these advantages, ionic liquids are great candidates for use as metal ion extractants.³

In this report a literature review that includes sources and toxicity of some of these heavy metals is available, this makes evident the need to study its extraction by means of compounds that achieve this objective and have as value added the protection of the environment.

* Final Project for Graduation

** Facultad de Ciencias, Escuela de Química. Especialización en Química Ambiental. Directora Dr. Luz Angela Carreño

INTRODUCCIÓN

Históricamente, el concepto de agua ha venido tomando cada vez más importancia en nuestra sociedad. En la actualidad se encuentra categorizada como líquido vital, debido al valor que tiene en todos los ámbitos de nuestra vida, no solo a nivel doméstico sino también en los diferentes sectores que hacen parte del auge industrial actual.⁴

Siempre se ha tenido el concepto errado que el agua tiene la propiedad de asimilar y diluir todo lo que recibe. Se tiene la concepción infortunada, de que su contaminación es consecuencia inevitable del desarrollo que todos los países necesitan para su subsistencia, sin tener en cuenta las consecuencias que pueda conllevar dicho desarrollo, y sin considerar que a largo plazo pueda poner en riesgo el sostenimiento del planeta, como de hecho ya está ocurriendo.

Anualmente la contaminación de gran parte de los afluentes hídricos, se ha venido incrementando, debido a la inmersión de grandes mezclas de sustancias químicas y de desechos, generando esta situación, una de las principales problemáticas ambientales. Grandes precursores de este problema son sustancias como – metales pesados, bacterias, nitratos e hidrocarburos-, las cuales se encuentran en porcentajes de concentración considerablemente peligrosos.

Muchas de estas sustancias son de origen humano y otras, si bien existen en la naturaleza, aumentan sus concentraciones en el ambiente como consecuencia de la actividad humana.⁵

La aplicación de la química verde, busca desde la industria química, reducir y eliminar aquellas sustancias peligrosas que están afectando el entorno, en algunos casos mediante el uso de otras como solventes, que facilitan su

eliminación y en otros, reemplazándolas por sustancias más amigables con el ambiente. Día a día este conjunto de acciones han venido tomando mayor fuerza e importancia, en la medida que importantes fundaciones, grandes empresas e incluso algunos gobiernos han apoyado la realización de estudios e investigaciones en busca de reducir el impacto sobre la naturaleza de los residuos industriales y lograr un manejo adecuado de los recursos ambientales.⁶

Para lograr reducir aquellos efectos perjudiciales se ha venido estudiando el reemplazo de los solventes orgánicos volátiles (VOCs, volatile organic compounds), por sustancias denominadas líquidos iónicos no volátiles, que permitan igualar o preferiblemente mejorar los resultados de estas, logrando como valor adyacente un menor impacto ambiental.⁷

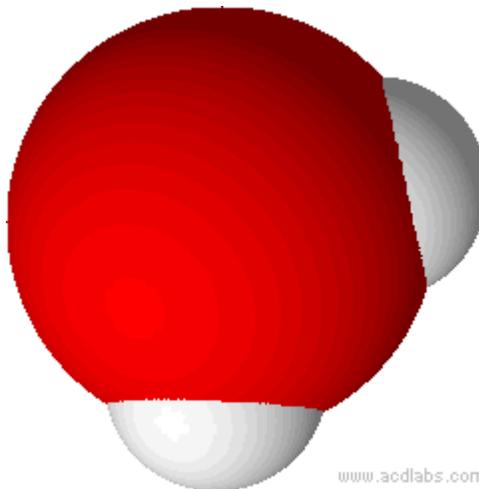
Con este trabajo se pretende elaborar un documento que recopile de manera organizada, información acerca de la toxicidad y fuentes de algunos metales en aguas residuales, así como los diferentes procesos que se han estudiado y publicado, utilizando como herramienta principal los líquidos iónicos como agentes extractantes.

1. LA MOLECULA DEL AGUA Y LAS AGUAS RESIDUALES

La presencia o ausencia del **Agua** ha venido marcando el desarrollo humano, pues si bien su abundancia representa un progreso en sectores industriales, agrícolas, entre otros; y su ausencia puede tener consecuencias lamentables para la humanidad como pobreza, enfermedades y hasta un estancamiento económico.

Su fórmula química es **H₂O** (figura 1), lo cual expone que está formada por dos átomos de Hidrógeno y uno de Oxígeno. Se encuentra en grandes cantidades como componente de la biosfera; igualmente se presenta atmosféricamente en forma de nubes o niebla, y forma los océanos, ríos, lagos y glaciales cubriendo siete décimas partes de la superficie de la tierra. Dentro de sus propiedades físicas, el agua se presenta en los tres estados de la materia, sólido, líquido y gaseoso, a 4 °C posee su mayor densidad, y participa activamente en la desintegración de las rocas.

Figura 1. Molécula del agua



Fuente: Programa acdlabs diseñado por el autor

Es un recurso esencial en todos los factores determinantes de la vida, al ser un elemento activo en los diferentes procesos biológicos de los seres vivos, tanto para humanos como animales y vegetales en la misma medida.⁸

La industria, la agricultura y el uso doméstico se han venido posesionando como los tres sectores que más hacen uso de este recurso. Pero desafortunadamente en su afán de obtener desarrollo económico, dan prioridad al logro de sus objetivos a como dé lugar, ignorando al medio ambiente como usuario primordial del agua, sin tener en cuenta que es este el que permite su ciclo natural y por consiguiente su sostenibilidad y preservación. Es por esto que día a día el tema sobre el manejo del agua y su conservación, ha tomado un enfoque más complejo e interdisciplinario que técnico, por lo que se han empezado a involucrar en el tema cada vez más sectores de la sociedad. Para que el manejo y la importancia de este recurso adquieran una perspectiva sostenible, se debe tener en cuenta todos los componentes necesarios, para lograr su preservación y posible recuperación, se debe trabajar de forma solidaria, unificando todo en un solo objetivo común que finalmente afecta tanto positiva como negativamente, ya sea el caso, a toda la humanidad. Es el momento de reflexionar y aportar esfuerzos individuales, que, aunque parezcan mínimos, una vez se juntan en una comunidad adquiere su verdadera importancia.

Según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM, 2010), Colombia posee una gran riqueza hídrica, pero debido a la contaminación, la deforestación, la erosión, entre otros, se ha venido presentado un desequilibrio hídrico en las grandes cuencas.⁹

A nivel industrial se presentan procesos de producción, transformación o manipulación en donde se utiliza el agua, incluyéndose los líquidos residuales, aguas de proceso y aguas de drenaje, dando como resultado las **Aguas Residuales**, las cuales son agentes activos en el deterioro y contaminación de

este potencial hídrico. En este tipo de disoluciones acuosas se pueden identificar distintas concentraciones de contaminantes, variable dependiente de los productos empleados en la industria vertiente, generando gran importancia al tratamiento de esta agua previo a su vertido debido al poder contaminante que tiene.¹⁰

Figura 2. Aguas Residuales



Fuente: www.commons.wikimedia.org (Bajo licencia de Creative Commons Images)

Es importante clasificar las características de los vertidos para así poder determinar sus agentes contaminantes y lograr llevar a cabo un adecuado tratamiento para su recuperación o mitigación al medio ambiente. Los vertidos residuales llevan consigo compuestos con los que el agua ha entrado en reacción, dependiendo de la ley de dilución del caudal, los cuales pueden ser orgánicos e inorgánicos.

Según el tipo de procedencia las aguas residuales se pueden clasificar en urbanas e industriales; en el caso de las aguas residuales urbanas se presenta como contaminantes especialmente: la materia orgánica, sales minerales, microcontaminantes, materia sólida inorgánica debido al arrastre de partículas, microorganismos, entre otros.

En el caso de las aguas residuales industriales, se presenta una mayor complejidad ya que los desechos son clasificados según el proceso que se lleve a cabo:

- **Líquidos residuales**, provenientes de la fabricación de productos, tales como lejías negras, los baños de curtido de pieles, las melazas de la producción de azúcar.
- Cuando el agua vertida es producto de transporte y lavado y que puede llegar a contaminarse con los productos de fabricación o incluso de los líquidos residuales, se denominan **Aguas Residuales de Procesos**.
- Las aguas cuya única contaminación es la temperatura se conocen como

Aguas de Refrigeración Indirecta

Actualmente las industrias son clasificadas en 5 grupos, según sus vertidos y los contaminantes que son arrastrados con ellos:

Industrias con efluentes principalmente orgánicos

- Papeleras
- Azucareras
- Mataderos

- Curtidos
- Conservas (vegetales, carnes, pescado)
- Lecherías y subproductos (leche en polvo, mantequilla, queso)
Fermentación (fabricación de alcoholes, levaduras)
- Preparación de productos alimenticios (aceites y otros)
- Bebidas Lavanderías

Industrias con efluentes orgánicos e inorgánicos

- Refinerías y Petroquímicas
- Coquerías
- Textiles
- Fabricación de productos químicos, varios

Industrias con efluentes principalmente inorgánicos

- Limpieza y recubrimiento de metales
- Explotaciones mineras y salinas
- Fabricación de productos químicos, inorgánicos.

Industrias con efluentes con materias en suspensión

- Lavaderos de mineral y carbón
- Corte y pulido de mármol y otros minerales
- Laminación en caliente y colada continua

Industrias con efluentes de refrigeración

- Centrales térmicas
- Centrales nucleares

Industrialmente es importante conocer el origen del vertido para así valorar la carga contaminante del mismo.¹¹

Actividades humanas, industriales y fuentes como la agricultura son los principales productores de sustancias contaminantes como los **metales pesados**. Estas sustancias propias de la naturaleza de peso molecular alto, muy difundidos y en muchos casos muy útiles, se pueden encontrar en forma libre o combinada (minerales).¹ Son elementos que tienen como propiedades: estabilidad química, térmica y biológica; son bioacumulables en los organismos vivos y presentan mayor bioconcentración en organismos acuáticos que en terrestres.

En primera instancia son generados naturalmente por actividades volcánicas, procesos de erosión de rocas y suelos y yacimientos. A nivel antropogénico la presencia de metales se da por actividades como minería, quema de materiales fósiles, uso de catalizadores y estabilizantes en procesos químicos.

Tabla 1. Flujo de las emisiones naturales y antropogénicas de algunos metales (tn/ año)

METAL	EMISIONES NATURALES	EMISIONES ANTROPOGENICAS
Aluminio	48.925.840	7.200.000
Arsénico	2.810	78.000
Cadmio	290	5.500
Cromo	58.400	94.000
Hierro	27.775.370	10.700.000
Mercurio	40	11.000
Plomo	5.871	2.030.000

(Fuente. Organización Mundial de la Salud. Criterios de Salud Ambiental. 2003).
Adaptada de: TOMO II - Contaminación Biológica, Física y Química: Fuentes y Efectos. (Ref. 12)

El principal responsable de la contaminación por metales es la industria; la presencia del Zn especialmente y del Cr, Cu, Pb, Mn, Ni, V y Zn se da por actividades como la agricultura y la ganadería. Procesos de combustión primordialmente y en segundo plano la metalurgia son los causantes de la presencia de As, Mn, Ni, Sb, Se y V. El Cr, Cu, Pb y Zn son generados en residuos urbanos, tanto líquidos como sólidos.¹²

Ambientalmente estos elementos han tomado mayor importancia debido a los daños que ocasionan, no solo al medio ambiente sino también en la salud pública, que en ocasiones trascienden al transmitirse de una generación a otra, y en otras pueden llegar a ser irreversibles.

Estos contaminantes son descargados como partículas o solutos, a la atmósfera, ambientes acuáticos y terrestres, presentando concentraciones elevadas, especialmente cerca del sitio de descarga.

A continuación, identificaremos algunos de los metales pesados que producen mayores efectos negativos sobre el medio ambiente:

2. METALES PESADOS

2.1 EL PLOMO (Pb)

Figura 3. El Salto y Juanacatlán, Jalisco



Fuente: www.flickr.com (Bajo licencia de Creative Commons Images)

Metal pesado, fuertemente tóxico, presente en varias actividades industriales, ya sea como materia prima en el caso de la producción de baterías y pigmentos, o como producto de procesos como la impresión y la soldadura. Dentro de los grandes usos a nivel industrial de este metal, está el proceso de vidriería, antidetonante de la gasolina, en las tuberías; entre otros.

Su contaminación directa al recurso hídrico se presenta por las emisiones de los vehículos, procesos de soldadura, actividad minera, refinación y fundición de metales, uso de pinturas a base de plomo, entre otros. A nivel biótico el principal

efecto de este metal se evidencia en su acumulación provocando desequilibrios en los ciclos biogeoquímicos

En Colombia se evidencia la presencia del plomo en diferentes sectores industriales; en la economía informal y en algunos casos ilegales, se realiza en pequeños talleres el aprovechamiento de baterías usadas, generando residuos peligrosos. Este proceso artesanal, utiliza el plomo metálico y metales pesados en la fundición de rejillas, bornes y soldadura, procesos en los que se ocasionan grandes intoxicaciones y contaminación ambiental debido al desprendimiento de partículas de plomo metálico o sus óxidos.¹³ También se evidencia en el proceso de combustión de los vehículos a gasolina que inyectan hacia el aire el plomo o sus componentes, ocasionando efectos desfavorables tanto en el sector ambiental como en la salud pública; a pesar que a partir de 1995 Colombia adoptó la política de gasolina ecológica.¹⁴

Otro de los factores importantes que se debe tener en cuenta de su contaminación, es el uso de pinturas con plomo en las construcciones viejas; si bien desde 1977 en los Estados Unidos casi por completo se eliminó este tipo de pinturas y aunque estas estén actualmente cubiertas con otras capas sin plomo, este metal se hace presente en el ambiente y es expuesto a los seres vivos, cuando las paredes se descascaran ya sea por el transcurrir del tiempo o por remodelaciones necesarias.¹⁵

2.2 EL MERCURIO (Hg)

Figura 4. Minería ilegal en Quilichao.



Fuente: www.commonswikimedia.org. (Bajo licencia de Creative Commons Images)

Presente en los ecosistemas de forma natural o antropogénica, es uno de los metales con mayor impacto sobre los ecosistemas acuáticos, provocando daños irreversibles tanto a nivel terrestre como acuático. Dentro de sus más importantes características se destaca que es un elemento fácilmente bioacumulado y biomagnificado en las cadenas alimenticias.¹⁶

Su forma natural y no dañina, se conoce como el mineral cinabrio, conocido también como sulfuro de mercurio, el cual no entra en reacción con los agentes atmosféricos, por lo que su incorporación a los ciclos biogeoquímicos es

insignificante. Toma importancia cuando se presenta como elemento metálico propio, el cual se incorpora a las cadenas tróficas con gran facilidad, realizando procesos de bioconcentración, adicionalmente es un elemento volátil, lo cual genera que reaccione fácilmente con los compuestos atmosféricos.¹⁷

Industrialmente es descargado a las cuencas hídricas principalmente por la actividad minera, en procesos de amalgamación del oro, generando una grave problemática ambiental sobre los cuerpos de agua y de salud pública sobre las poblaciones adyacentes.¹⁸ Dentro de otras actividades se encuentran la odontología, la industria farmacéutica, Industria de plaguicidas, la industria química, en la producción de lámparas de vapor, tubos fluorescentes, entre otros.

2.3 EL CADMIO (Cd)

Figura 5. Horno utilizado en la metalurgia



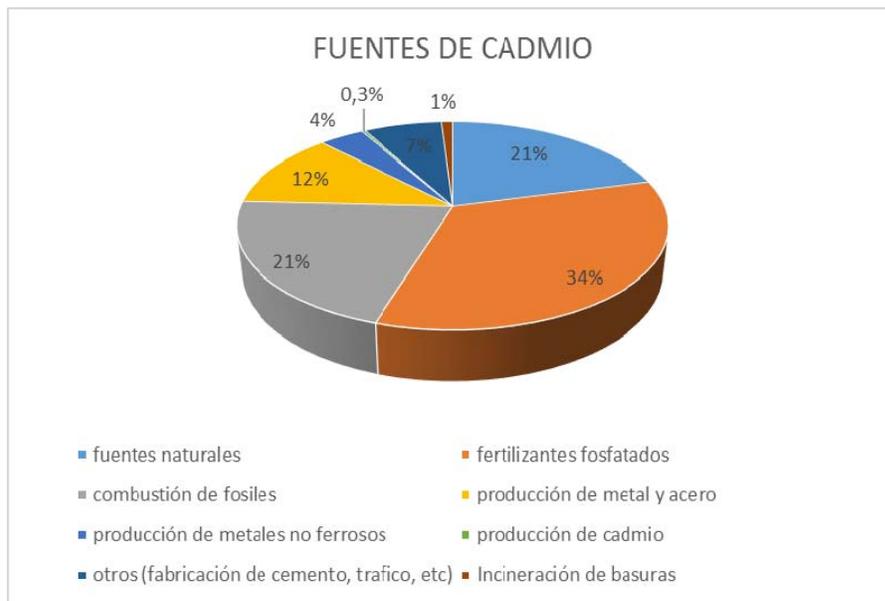
Fuente: pt.wikipedia.org. (Bajo licencia de Creative Commons Images)

Metal pesado, que se encuentra de forma toxica, usualmente como óxido, cloruro o sulfuro, compuestos obtenidos entre otros, por el tratamiento metalúrgico del zinc y del plomo. Se ha comprobado que al medio ambiente son descargadas alrededor de 300.000 toneladas de Cadmio de las cuales, producto de actividades humanas son de 4000 a 13000 toneladas.¹⁹

Es resistente a la corrosión; sus compuestos son utilizados en la industria en el recubrimiento de metales para evitar su desgaste.²⁰ Es un metal que se utiliza en diferentes tipos de industrias, como es el caso de las pinturas, textiles, vidrios, tintas de impresión, lacas, producción de baterías, se utiliza en aleaciones con cobre, aluminio y plata, entre otros. Debido a su diversidad aplicativa y su larga vida media, es un elemento se presenta dificultades para su reciclaje, generando en el ambiente una acumulación progresiva.²¹

Algunas de las fuentes antropogénicas del Cadmio como contaminante, debido a sus usos en la industria, están; las emisiones atmosféricas, originadas a partir de las minas metalúrgicas, desde la agricultura se generan contaminación, debido al uso de fertilizantes fosfatados y los fangos procedentes de aguas residuales.

Gráfica 1. Fuentes de Cadmio



Fuente: OMS/FAO). Adaptada de: TOMO II - Contaminación Biológica, Física y Química: Fuentes y Efectos (Ref. 12)

Dentro de sus efectos tóxicos se encuentra que afecta directamente a las plantas generando problemas de nutrición e hidratación; altera procesos como la fotosíntesis y la transpiración; reduce las actividades enzimáticas que permite la fijación del CO₂, producto de la inhibición de la síntesis de la clorofila; ²² en los seres humanos produce efectos nocivos sobre el sistema nervioso, generando en los niños hiperactividad, dificultad de aprendizaje, cambios conductuales; entre otros.

2.3 EL ZINC (Zn)

Figura 6. Pieza de Zn



Fuente: www.commonswikimedia.org. (Bajo licencia de Creative Commons Images)

Para el metabolismo de los seres vivos y en especial para el ser humano, es un elemento esencial; se encuentra en el agua, aire y suelo, es uno de los elementos menos comunes sobre la faz de la tierra.²³

Durante los últimos años se ha evidenciado un aumento de su concentración en el medio ambiente, producto de su uso en diferentes sectores industriales, como es el caso de la minería, la combustión del carbón y los residuos de los procesos sobre el acero.²⁴ También es utilizado en la fabricación del latón, en la industria del automóvil, la construcción y en la obtención de aleaciones se utilizan en grandes cantidades.²⁵

Debido a vertidos industriales en las cuencas hídricas, se forman fangos a las orillas de los ríos en los cuales hay presencia de altas concentraciones de Zn, alterno a esto, se evidencia la acidificación de las aguas superficiales. Cuando está presente en el suelo, afecta directamente en el desarrollo de las plantas, impidiendo su crecimiento y sus condiciones de supervivencia. También influyen en los procesos biológicos naturales del suelo, afectando a microorganismos y lombrices. El zinc, como algunos otros metales, es transportado al ser humano por medio de los peces que son consumidos; ya q estos acumulan el metal en sus órganos.²⁶

3. REMOCIÓN DE METALES

Dentro de los afluentes de las aguas residuales, podemos encontrar presencia importante de diferentes metales pesados. Entre ellos explicados anteriormente el plomo, mercurio, cadmio y zinc, entre otros. La presencia de estos metales provoca en el medio ambiente efectos como mortalidad de peces, envenenamiento de ganado, mortalidad de plancton, acumulaciones en el sedimento de peces y moluscos.

Debido a su toxicidad es importante no solo medir y controlar las concentraciones de estos elementos, sino también lograr por métodos instrumentales su remoción, para mitigar un poco sus efectos en el medio ambiente. Dentro de estos métodos se destacan los tratamientos biológicos, la depuración química, electrocoagulación, intercambio iónico, la oxido-reducción, uso de agentes químicos, entre otros.²⁷

Dentro de los **procesos biológicos** se encuentra las plantas acuáticas usadas como tratamientos alternativos para la remoción de metales en aguas residuales. Este tipo de plantas son usadas para asimilar y descomponer nutrientes, materia orgánica e inorgánica. Sus ventajas están determinadas por el tipo de afluente a tratar y de las condiciones de operación.

Los procesos que comprende este tipo de tratamientos son:

- Paso de los residuos por un decantador
- Deposición de los residuos líquidos en un humedal artificial
- Paso de las aguas sobre un lecho de piedras de cinco centímetros, en el que se encuentran las especies acuáticas impidiendo la aparición de mal olor o de zancudos.

- Por último los residuos son descargados en una laguna con plantas flotantes donde se completa el proceso de eliminación de metales.²⁸

Una de las plantas que se usa como alternativa para la extracción de metales pesados es el uso de Jacintos de Agua que permite de forma económica la remoción y acumulación en sus tejidos de gran variedad de metales pesados como mercurio (Hg), cadmio (Cd), plomo (Pb), arsénico (As), cromo (Cr). Debido a que estos metales posteriormente son liberados al medio pudiendo causar efectos nocivos, es importante después de determinado tiempo remover este tipo de plantas y así no afectar la recuperación del humedal.²⁹

Los métodos de **depuración química** por precipitación se basan en la adición de un reactivo soluble, el cual provoque precipitación de un producto hasta alcanzar su límite de solubilidad. En el caso de los metales pesados presentes como iones, como el cadmio, cobre, níquel, zinc o hierro se precipitan como hidróxidos o como bicarbonatos, teniendo en cuenta el pH característico de cada uno.

Para este tipo de procesos es necesario tener en cuenta que la cinética de la reacción, la solubilidad del precipitado y la velocidad probable de sedimentación de los precipitados, con o sin la ayuda de floculantes. Para llevar a cabo la eliminación de los metales se debe disponer de:

- Un sistema de dosificación de agentes precipitantes y floculantes
- Un tanque de reacción agitado mediante aire
- Un tanque de floculación de mezclado lento.
- Un sistema donde por sedimentación y/o filtración y en algunos casos por flotación se pueda separar el precipitado
- Disponer un sistema para el control eficaz del pH, que deberá tener los valores específicos de acuerdo al precipitado que se va obteniendo.

En la Tabla 2 se encuentra los métodos para la eliminación de algunos metales. Estos procedimientos pueden aplicarse también a otros metales.³⁰

Tabla 2. Ejemplos de procesos de eliminación de algunos metales en las aguas

Metales	Precipitado	Agente	pH	Separación	Precauciones
Plomo	PbCO ₃ Pb(OH) ₃	Na ₂ CO ₃ Ca(OH) ₂	6 – 10	Sedimentación y filtración	Operar a nivel óptimo de pH
Mercurio	HgS	H ₂ S	8,5	Sedimentación Filtración Adsorción	Eliminación final del exceso de H ₂ S
Zinc	Zn(OH) ₂ ZnS	Ca(OH) ₂ H ₂ S	9 – 10 (8,5)	Sedimentación Filtración	Eliminación previa de CN ⁻ y cromatos

Fuente: Adaptada de: Los metales pesados en las aguas. (Ref. 30)

Otro método empleado con el fin de la remoción de metales pesados en aguas residuales es la **electrocoagulación**, siendo un proceso rentable, genera pocos residuos secundarios y presenta altos porcentajes de remoción.

Es importante resaltar de este método su semejanza con la coagulación, se fundamenta en el uso de un reactor de electrocoagulación, considerado como una celda electrolítica en donde los electrodos son inmersos en el agua residual que contiene los metales a remover; requiriendo una fuente externa que permita el flujo de electrones, generando los procesos de óxido-reducción.³¹

Otro método físico-químico eficiente y rentable es la **adsorción con carbón activado (CA)**, este método depende por el tamaño del poro el cual determina la capacidad de adsorción y su estructura química. En un estudio realizado en la

Universidad Nacional se evidencia el uso de un carbón activado a partir de residuos de pino pátula, con el cual se muestra una buena adsorción de hierro y cobre en el agua residual tratada. No obstante se comprobó que no fue un método eficiente para la remoción de Zinc.³²

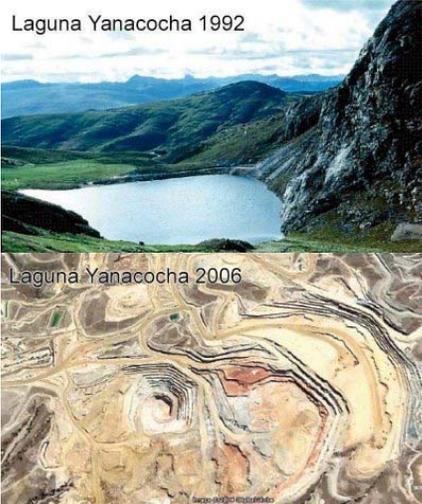
Aunque históricamente se han venido estudiando diferentes métodos para lograr una adecuada remoción de metales pesados en aguas residuales, vale aclarar que algunos de estos tipos de métodos presentan una serie de limitaciones:

- En los lodos resultantes en procesos industriales se presenta dificultad en el momento de retirar los metales, específicamente en el proceso de separación de los contaminantes en la fase sólida, así como al implementar un proceso de bioadsorción.
- Los altos costos de operación como es en el caso de la microfiltración y al reemplazo de resinas, para el caso del intercambio iónico, dificulta para las pequeñas y medianas empresas su implementación para remover metales.³¹
- Generación de productos secundarios o volátiles que generan contaminación de afluentes hídricos o atmosféricos

Es importante tener en cuenta que, aunque la presencia de estos metales de forma natural en el medio ambiente no representa ninguna amenaza para su equilibrio, los altos niveles de concentración, que se han venido evidenciando, producto de la gran variedad de actividades industriales y domésticas, que han aumentado debido a las mismas necesidades de la humanidad, generan desde hace tiempo, una gran preocupación por los efectos nocivos que se han evidenciado. Es por esta razón que cada día ha tomado mayor importancia la búsqueda de herramientas que permitan reducir tales concentraciones y emisiones a las cuencas hídricas y a todos los componentes del medio ambiente, buscando una producción más limpia y amigable para el medio ambiente.

Atacando directamente los contaminantes, en este caso metálicos, que son descargados a través de las aguas residuales al medio ambiente.³³

Figura 7. Laguna Yanacocha antes y después de la intervención de la minería



Fuente: www.anticapitalistes.net. (Bajo licencia Creative Commons Images)

4. QUIMICA VERDE

A través de los tiempos hemos visto como la química ha contribuido en los diferentes aspectos de la sociedad, gracias a esta ciencia se han salvado vidas y se ha mejorado la calidad de vida,³⁴ por tal motivo es inevitable aceptar que la química como ciencia, ha traído a la vida moderna, demasiados beneficios y desarrollos tecnológicos; pero también ese avance, hace que las sociedades sean más propensas a los efectos nocivos para el medio ambiente que trae consigo mismo. Nuestra sociedad hoy en día, liderada por los entes gubernamentales y científicos, ha mostrado mayor preocupación sobre las emisiones producidas por el ser humano, las industrias, la agricultura; buscando alternativas viables que beneficien al medio ambiente. Si bien es cierto que la química no es única culpable del deterioro ambiental si debe ser precursora de soluciones efectivas tanto en productos como en procesos que garanticen menores riesgos y niveles de contaminación. Es por esta razón que toma vital importancia destacar la química como una visión de futuro, que permita alcanzar una seguridad ambiental, con desarrollo sostenible para futuras generaciones; siendo este el fundamento de lo que es actualmente conocido como Química verde o Química Sostenible.

A nivel industrial, de educación y de investigación, la química verde busca afrontar una serie de desafíos que se logren llevar a la práctica, no solo para mitigar la contaminación, la cual se ha venido incrementando, sino también un desafío para generar oportunidades de investigar, descubrir y aplicar nuevas tecnologías, que permitan mejorar la economía y cambiar la concepción nociva de esta área frente a la sociedad.³⁵

Hoy en día, la **Química Verde**, no se centra sólo a nivel industrial, sino que abarca diferentes ámbitos sociales, con el fin de crear conciencia, teniendo en cuenta la necesidad de llegar a personas de todas las edades, razas y culturas; por esto

desde el aula y los laboratorios se motiva a los jóvenes para que generen soluciones limpias frente a los problemas de contaminación originados por los mismo procesos químicos, y se aprovechan todo tipo de medios de comunicación para transmitir este mensaje. Los mayores retos a los que se enfrenta hoy en día la química verde es la de reemplazar solventes orgánicos, usar reactivos químicos alternativos, lograr que las materias primas sean recursos renovables y buscar que los compuestos químicos sean menos tóxicos y se dispongan de manera adecuada, todo con una sola finalidad, mejorar las condiciones del planeta.

Para llevar a cabo estos objetivos, la química verde se propone una serie de principios:

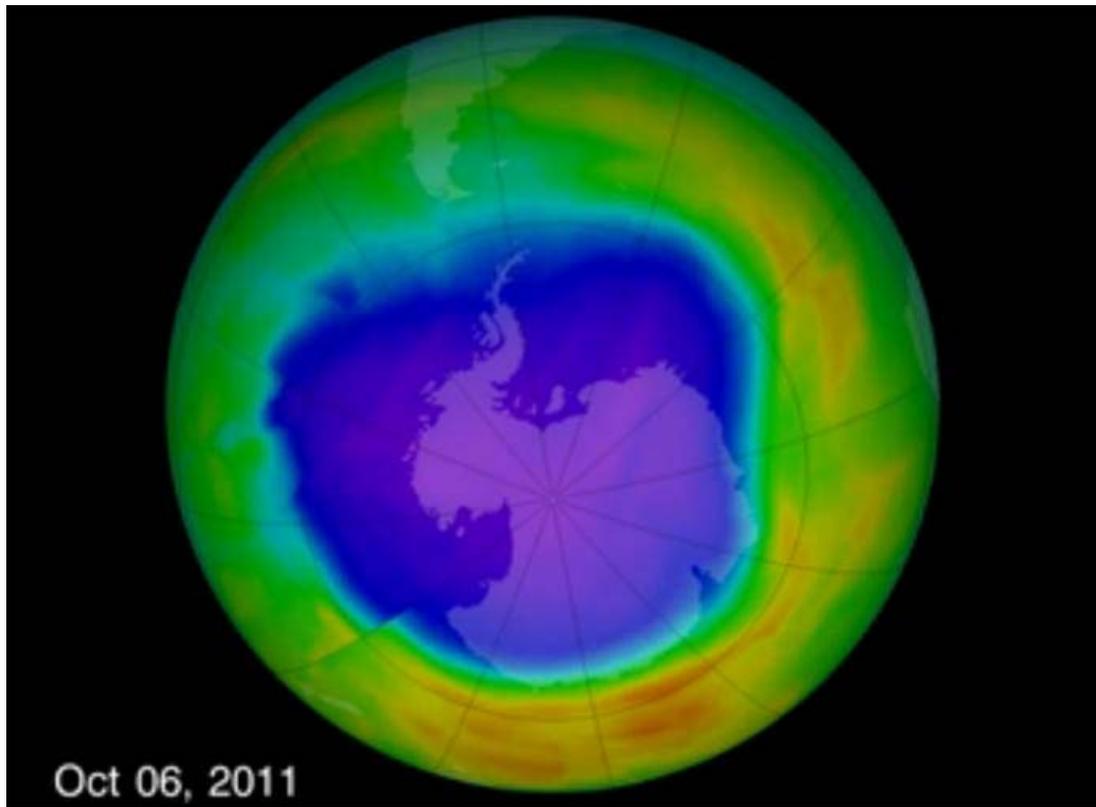
1. Prevenir la producción de residuos contaminantes
2. Optimizar procesos de síntesis que logren usar al máximo todos los materiales posibles y así reducir la producción de subproductos
3. Generar productos con la menor toxicidad tanto para el hombre como para el medio ambiente
4. Lograr un equilibrio en los productos químicos donde se logre una buena eficiencia y una toxicidad reducida
5. Reducir el uso de sustancias auxiliares y si es necesario debido al proceso el empleo de disolventes, buscar que sean lo más inofensivos posible.
6. Reducir en los procesos los altos requerimientos energéticos debido a su impacto ambiental y económico
7. En lo posible usar en los procesos materias primas renovables

8. Evitar posible formación de derivados
9. Darles mayor prioridad a los catalizadores sobre los reactivos estequiométricos
10. Lograr obtener productos que al finalizar su uso sean biodegradables
11. Llevar un seguimiento continuo de los procesos para evitar formaciones de productos contaminantes
12. Elegir sustancias que ayuden a prevenir accidentes químicos como emisiones, explosiones e incendios.

La química verde a nivel de polímeros se ha centrado en alternativas basadas en procesos biológicos, usando materiales renovables en búsqueda de la biodegradabilidad. Una de sus investigaciones más activas viene a ser a nivel de diseño de disolventes benignos y sistemas de disolventes, entre ellos los **Líquidos Iónicos**, por sus características atractivas generando una nueva química.³⁶

Los procesos de extracción se han realizado tradicionalmente con disolventes orgánicos, los cuales presentan inconvenientes tales como la baja selectividad, la volatilidad de los solventes, el costo y por otro lado, la contaminación del medio ambiente. Algunos de sus efectos nocivos para el medio ambiente son la degradación de la capa de ozono (imagen 8), el aumento en las plantas de la sensibilidad a plagas interfiriendo en su crecimiento. Con respecto a los seres humanos, en presencia de luz se genera el ozono ambiental el cual afecta la capacidad respiratoria; para mujeres en estado de embarazo, en concentraciones acumuladas afectan directamente al feto, generando en algunas ocasiones el aborto espontáneo, lesiones cerebrales, entre otros.³⁷

Figura 8. Deterioro de capa de ozono



Fuente: www.comune.bolgare.bg.gov.it. (Bajo licencia Creative Commons Images)

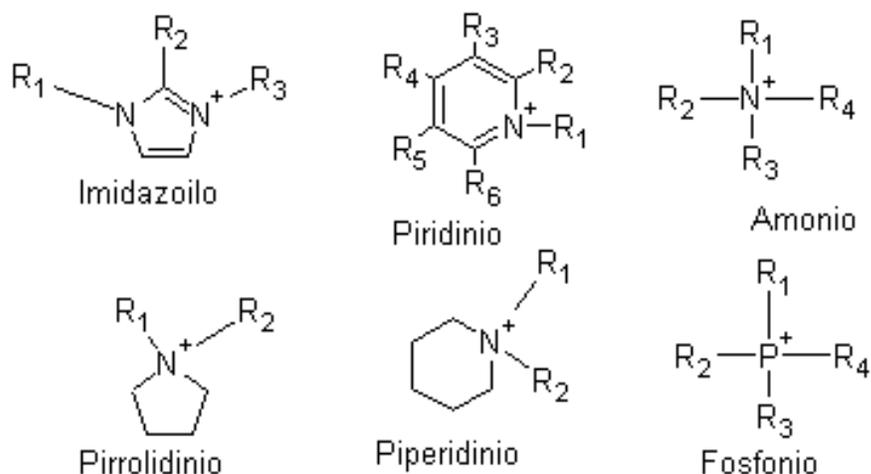
5. LÍQUIDOS IÓNICOS

El agua hasta el siglo XIX era el único medio líquido en el que se realizaban las reacciones químicas; las cuales dependían de la solubilidad de los productos en ésta. Más adelante se da la utilización de disolventes orgánicos (hidrocarburos, nitrilos, hidrocarburos clorados, etc. Hoy en día existe una nueva alternativa como medio de reacción y es el empleo de **Líquidos Iónicos**.

Estos líquidos tienen temperaturas de fusión inferiores a los 100 °C y están formados por un anión y un catión. Dentro de las principales características para el caso de los cationes que los conforman es poseer una base aromática con átomos de nitrógeno en el anillo; y para los aniones es que pueden estar constituidos por diferentes elementos químicos.

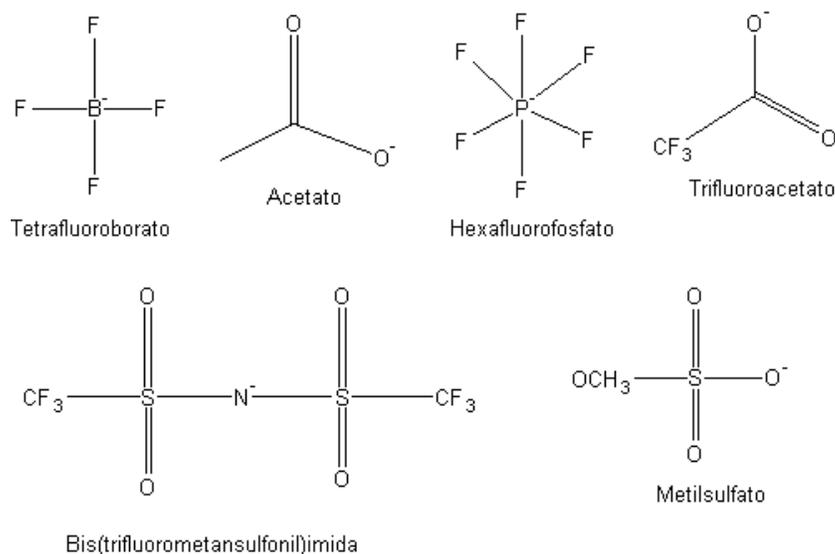
Cationes y aniones más comunes que permiten el diseño de los líquidos iónicos.³⁸

Figura 9. Cationes más comunes que conforman los líquidos iónicos



Fuente: "Efectos de solvente en ambiente de líquidos iónicos en reacciones orgánicas" (Ref. 30)

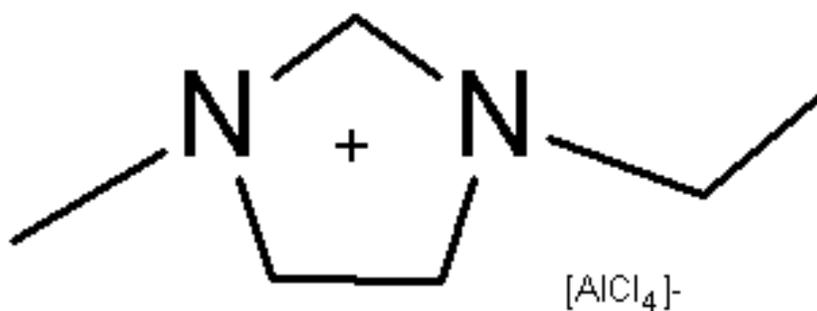
Figura 10. Aniones más comunes que conforman los líquidos iónicos.



Fuente: "Efectos de solvente en ambiente de líquidos iónicos en reacciones orgánicas" (Ref. 30)

Para lograr un adecuado diseño del líquido iónico que se ajuste de la mejor forma para determinado uso; es necesario elegir la adecuada combinación entre el gran número de aniones, los cuales aportan gran parte de propiedades físicas y de cationes, los cuales determinan el comportamiento químico del líquido iónico.³⁹

Figura 11. Cation y anión de un líquido iónico.



Fuente: Cation: 1-etil 3-metilimidazoilo. Anión: tetracloroaluminato. Adaptada de Líquidos Iónicos a Temperatura Ambiente: Un Nuevo Medio para las Reacciones Químicas (Ref. 39)

5.1 PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS

Gracias al amplio rango de selección de aniones y cationes, las propiedades físicas y químicas de los líquidos iónicos pueden ser variadas.

5.1.1 Coloración. La mayoría son incoloros. En algunos casos se presenta coloración debido al del tipo de catión y anión que estén involucrados en su estructura.⁴⁰

5.1.2 Punto de fusión. El punto de fusión adquiere como propiedad gran valor cuando se evalúan los líquidos iónicos, es por esto que se debe apreciar la relación existente entre su estructura y su composición.

Cuando se comparan los puntos de fusión de distintas sales de cloruro se evidencia la importancia del catión; cuando son cloruros de metales alcalinos se observan altos puntos de fusión, pero si los cloruros catiónicos son orgánicos los cuales se funden a temperaturas bajo 423 °K. (Tabla 3)

Tabla 3. Puntos de fusión de varias sales de cloruro

Sal iónica	Punto de fusión (°K)
NaCl	1076
KCl	1045
1,3-Dimetilimidazoilo cloruro	398
1-Etil-3-etilimidazoilo cloruro	360
1-butil-3-metilimidazoilo cloruro	338

Fuente: basada en Líquidos Iónicos. Propiedades fisicoquímicas y aplicación potencial en el mejoramiento de crudos pesados. (Ref. 41)

Para lograr entender los bajos puntos de fusión para estos compuestos, es importante evaluar la baja simetría, las interacciones intermoleculares débiles y la distribución de carga del catión. Una forma de evidenciar que el aumento del tamaño del anión con igual carga produce una caída en el punto de fusión, es comparando los puntos de fusión del ion 1-etil-3-metilimidazolio (EMIM).

Tabla 4. Influencia de diferentes aniones sobre el punto de fusión de líquidos iónicos tipo imidazolio

Líquido iónico	Punto de fusión (°K)
[EMIM] Cl	360
[EMIM] NO ₂	328
[EMIM] NO ₃	311
[EMIM] AlCl ₄	280
[EMIM] BF ₄	279
[EMIM] CF ₃ SO ₃	264
[EMIM] CF ₃ CO ₂	259

[EMIM] = 1-etil-3-metilimidazolio

Fuente: Adaptada de: Líquidos Iónicos. Propiedades fisicoquímicas y aplicación potencial en el mejoramiento de crudos pesados. (Ref. 41)

5.1.3 Punto de ebullición y estabilidad térmica. Los líquidos iónicos, poseen una gran ventaja en los procesos de ingeniería debido a que no poseen un punto de ebullición específico, haciendo que los procesos de separación sean más eficientes.

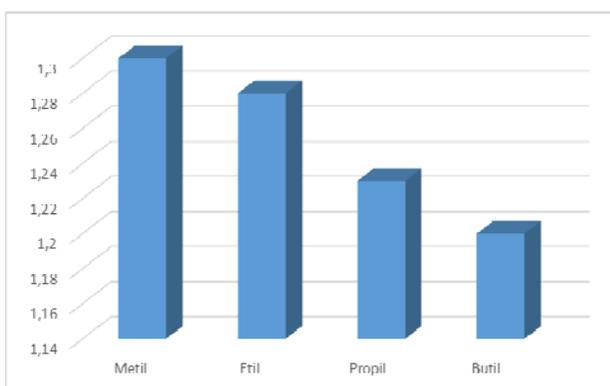
Gracias a esta ausencia de punto de ebullición, se puede definir su estabilidad térmica, la cual es la temperatura a la cual un líquido iónico pierde sus propiedades, descomponiéndose estructuralmente.

Desde procesos de alquilación, se ha podido evidenciar la relación existente entre el anión y la temperatura de descomposición, tal es el caso de la gran parte de sales cuaternarias de cloruro de amonio, los cuales trabajan a una temperatura máxima de 150 °C, tal es el caso del 1-etil-3-metilimidazolio tetrafluoroborato [EMIM] [BF₄] a los 300 °C es estable y el [EMIM] [(CF₃SO₂)₂N] (punto de fusión - 3°C) es estable hasta 400°C.

Una de las grandes ventajas para ser usados como solventes, es su amplio rango en la temperatura de los puntos de fusión, permitiéndoles permanecer como líquidos.

5.1.4 Densidad. Como se puede evidenciar en el gráfico 2, para un líquido iónico la densidad depende del tipo de catión y anión, como es el caso de las sales cloroaluminatos y bromoaluminatos, en las cuales se evidencia la relación entre esta propiedad y la longitud de cadena alquilo en el catión imidazolio.

Gráfica 2. Dependencia de la densidad del líquido iónico 1-R-3-metilimidazolio tetracloroaluminato [RMIMAICl₄] sobre el tipo de radical alquilo utilizado [R], mediciones realizadas a 60 °C, fracción molar X(AlCl₄)



Fuente: Adaptada de Líquidos Iónicos. Propiedades fisicoquímicas y aplicación potencial en el mejoramiento de crudos pesados. (Ref. 41)

A partir de diferentes estudios con respecto a la densidad, se puede observar que:

- A medida que el volumen del catión aumenta la densidad se reduce.
- Es importante ser cuidadoso en la elección del anión, ya que este de cierta forma, establece el rango de densidad, y un fino ajuste depende de la elección del catión.
- Gran parte de las aplicaciones de los líquidos iónicos depende de la densidad, adquiriendo gran valor e importancia
- Son más densos que el agua.
- En la tabla 5 se puede observar datos de densidades para el catión imidazolio.⁴¹

Tabla 5. Datos de densidad para el catión imidazolio

Catión	Anión	Temperatura °K	Densidad g/cc
EMIM ⁺	BF ₄ ⁻	298	1,240
EMIM ⁺	CF ₃ CO ₂ ⁻	293	1,285
EMIM ⁺	C ₃ F ₇ CO ₂ ⁻	293	1,450
EMIM ⁺	CH ₃ SO ₃ ⁻	298	1,240
EMIM ⁺	CF ₃ SO ₃ ⁻	298	1,380
BMIM ⁺	BF ₄ ⁻	298	1,140
BMIM ⁺	PF ₆ ⁻	293	1,363
BMIM ⁺	CF ₃ CO ₂ ⁻	298	1,296

Fuente: Adaptada de Líquidos Iónicos. Propiedades fisicoquímicas y aplicación potencial en el mejoramiento de crudos pesados. (Ref. 39)

5.1.5 Viscosidad. Usualmente presentan viscosidad dinámica, la cual afecta procesos en ingeniería tales como agitación y bombeo debido a que afecta la difusión de sólidos.

La viscosidad se ve afectada por la presencia de impurezas y depende de la temperatura.

Frente a los solventes orgánicos convencionales, los líquidos iónicos son más viscosos.

5.2 PROPIEDADES ELECTROQUÍMICAS

Gracias a sus propiedades los líquidos iónicos son disolventes adecuados en procesos electroquímicos, presentando estabilidad a la oxido-reducción.

Debido su amplio intervalo de estabilidad electroquímica, los líquidos iónicos son usados como electrolitos en síntesis electroquímicas, disolventes en electrodeposición de metales, entre otras aplicaciones.

Este tipo de compuestos presentan un intervalo de estabilidad electroquímica entre 2 V y 4 V dependiendo del pH del medio, lo cual comparado con las soluciones acuosas que solo tienen un intervalo de 2 V, hace que sea una gran ventaja frente a las nuevas tecnologías.⁷

5.2.1 Potencial de hidrogeno pH. Los líquidos iónicos dependiendo de su estructura química y su capacidad de ionizarse pueden hacer extracciones a diferentes valores de pH⁴², tal es el caso del líquido iónico [C₄MIM] [PF₆] que a un pH de 2,0 permite la extracción de Pb²⁺, Zn²⁺ y del Cu²⁺.⁴⁷, o la ditizona que a un pH 7,0 permite la extracción de Cu²⁺ con una eficiencia del 99%, o ajustando el pH a 10,0 se obtiene un porcentaje de remoción del 97% de Zinc.⁴⁸

Entre otros ejemplos que más adelante se mostrarán, se puede evidenciar la importancia del ajuste del pH para garantizar un mejor porcentaje de remoción del metal seleccionado.

6. APLICACIONES DE LOS LÍQUIDOS IÓNICOS

Una de las primeras aplicaciones de los líquidos iónicos se dio en las baterías con fines electroquímicos. Posteriormente se evidenció que los líquidos iónicos presentaban grandes utilidades en procesos químicos y bioquímicos.

6.1 DISOLVENTES EN REACCIONES QUÍMICAS

Los líquidos iónicos han sido usados potencialmente como catalizadores en de biocatálisis y polimerización. Gracias a su hidrofobicidad se ha dado su uso en procesos de extracción líquido-líquido, destacando su empleo en la extracción de metales, moléculas orgánicas y biomoléculas, entre otros.

Dentro de otros usos de los líquidos iónicos están:

- Debido a su extenso rango de temperatura en el que se encuentra en estado líquido y las buenas propiedades de estabilidad térmica que presentan, son considerados como una buena alternativa en sistemas de fluidos de intercambio de calor.
- Con respecto a la separación de azeótropos, los líquidos iónicos son usados favorablemente en las destilaciones debido a su elevado punto de ebullición y estabilidad térmica, las cuales permiten optimizar energéticamente las destilaciones extractivas, a su vez una vez finalizada la destilación los LI se pueden regenerar mediante extracción, evaporación, secado o cristalización gracias a su baja volatilidad.
- Debido a su baja volatilidad y alta estabilidad térmica, son usados como lubricantes.
- Son usados en síntesis electroquímicas para uso en baterías, superconductores, células solares, entre otros.

- Con respecto a su uso como membranas líquidas soportadas cabe destacar que la cantidad de disolventes es mínima y los procesos de extracción y recuperación se dan en una sola etapa.
- Son utilizados también como nuevos materiales en la química analítica, como fases estacionarias en cromatografía de gases y electrolitos en electroforesis capilar.
- Esta el caso de los poli-metil metacrilato (PMMA) y poli-cloruro de vinilo (PVC), los cuales pueden ser adecuados como plastificantes, que puedan ser usados a bajas temperaturas.
- Pueden ser usados como dispersantes secundarios en pastas de pigmentos y tensoactivos.⁴³

Cada vez se ha visto mayores aplicaciones de los líquidos iónicos no solo en la industria química si no en diferentes procesos, las cuales son ya sustentadas en trabajos científicos o procesos en etapa semi-industrial.

Figura 12. . Aplicaciones líquidos iónicos.



Fuente: Diseño de líquidos iónicos para procesos sostenibles (Ref. 44)

Frente a los procesos de investigación de los líquidos iónicos durante el *First International Congress on Ionic Liquids* (2005, Salzburg-Austria) se establecieron retos como los costos y su tecnología de fabricación, trabajar en su recuperación y reutilización y realizar más estudios en cuanto a sus propiedades.⁴⁴

7. LÍQUIDOS IÓNICOS COMO EXTRACTANTES DE METALES

El Ni, Cd, Hg y Pb aparecen en la lista de los 33 sustancias orgánicas e inorgánicas de mayor prioridad convertidas en serios problemas en ambientes acuáticos debido a su toxicidad, bioacumulación y persistencia.

El empleo de líquidos iónicos como agentes extractantes para la eliminación de estos elementos a través del tratamiento de los desechos acuosos es una importante alternativa a procedimientos avanzados basados en adsorción e irradiación.⁴⁵

Fischer et al.⁴⁶ estudiaron líquidos iónicos basados en cationes de amonio cuaternario y fosfonio con aniones de tiol, tioéter, hidroxilo, carboxilato y tiocianato para el tratamiento avanzado de desechos. Se evaluó la extracción de metales incluyendo plomo, zinc, cromo y cadmio entre otros. Aplicaron por primera vez micro extracción en fase líquida con líquidos iónicos a aguas de desecho tanto domésticas como industriales.

De los Ríos et al.⁴⁵ estudiaron la extracción de los iones Zn^{2+} , Cd^{2+} y Fe^{3+} de soluciones acuosas hidrocloradas usando líquidos iónicos en ausencia de agentes quelantes. En este estudio se emplearon líquidos iónicos basados en los cationes 1-(n-álquil)-3-metilimidazolio y tetraalquilamonio y los aniones hexafluorofosfato, bis[(tri-fluorometil)sulfoni]limida, tetrafluoroborato y cloruro. Se ha comprobado que el líquido iónico cloruro de metiltrioctilamonio, $[MTOA^+][Cl^-]$ permite la eliminación casi cuantitativa (porcentajes de extracción > 94%) de Zn^{2+} , Cd^{2+} y Fe^{3+} de disoluciones acuosas en rangos de concentración desde 0,1 a 5 g/L. Además, se consiguió una elevada eficiencia en la separación selectiva de Zn^{2+}/Fe^{3+} y Cd^{2+}/Fe^{3+} utilizando el líquido iónico tetrafluoroborato de 1-metil-3-octil-imidazolio, $[OMIM^+][BF_4^-]$, ya que se alcanzaron altos porcentajes de extracción para Zn^{2+} y

Cd^{2+} (> 90%) mientras que la extracción de Fe^{3+} resultó prácticamente nula. La eficiencia de extracciones para los aniones ensayados es $[\text{NTf}_2^-] < [\text{PF}_6^-] < [\text{BF}_4^-]$ lo cual coincide con la secuencia de hidrofiliidad del anión. Estos resultados indican que el empleo de los líquidos iónicos como alternativa a los agentes de extracción tradicionales a la extracción líquido-líquido de iones de metales pesados es muy prometedor.

Se ha podido evidenciar gracias a los estudios, el uso del líquido iónico $[\text{C}_4\text{MIM}][\text{PF}_6]$ que a un pH 2,0 permite la extracción en fase acuosa de los iones Pb^{2+} y Zn^{2+} y en fase iónica el Cu^{2+} permitiendo la separación óptima de estos iones, obteniendo un porcentaje de remoción para el Cu^{2+} del 97%. Gracias a estos estudios se evidencia la importancia del uso de los líquidos iónicos como extractantes de iones metálicos mediante la variación del pH.⁴⁷

Trabajos realizados en el caso de la extracción de Zinc y Cobre, usando de nuevo el líquido iónico 1-butyl-3-methylimidazolium hexafluorofosfato $[\text{C}_4\text{MIM}][\text{PF}_6]$. Como extractante se utilizó ditizona y PAN (1-[2piridilazo]-2[naftol]). Los resultados demuestran que la eficiencia de extracción del metal es controlada por el pH del sistema. Para pH bajos (2 o menos) la extracción es baja y esta se incrementa significativamente con el pH. En este caso el uso del extractante PAN se obtiene entre un 51 a un 98% de extracción de cobre variando el pH desde 2 a 7 respectivamente. Cuando se utiliza ditizona como extractante la extracción de cobre varía desde 0 % a pH = 2, hasta un 99 % a pH =7. En el caso del Zinc a pH=7 se alcanzó solo un porcentaje de 61%, pero ajustando el pH a 10 se obtuvo un porcentaje de remoción del 97%.⁴⁸

Para el caso de la extracción del plomo Pb^{2+} se presenta el uso del líquido iónico 1-butyl-3-metilimidazolio hexafluorofosfato, $[\text{BMIM}][\text{PF}_6]$, combinado con el ligando 2-aminotiofenol. Durante la extracción de este ion se observó un incremento en el porcentaje de extracción del 80% cuando el pH aumentó de 3 a 6, siendo estos

resultados no adecuados para investigar el mecanismo de extracción a concentraciones más altas de iones de metales; posteriormente se hizo uso del [BMIM] [PF₆] que en cloroformo indica que como líquido iónico es un mejor receptor de fase para la eliminación de metales, debido a los porcentajes de remoción. Durante la investigación se presentaron similitudes durante los procesos, debido a que para la extracción del Pb²⁺ el valor óptimo de pH es de 5.⁴⁷

Una de las principales conclusiones de todos estos trabajos es la necesidad de inmovilizar los líquidos iónicos sobre algún material poroso estable mecánicamente que permita mayor extracción, sin que se pierda el líquido iónico y a su vez permita realizar regeneración y re-uso del material, ya que al ponerlos puros en contacto directo con el desecho su miscibilidad con el agua hace que se disuelva parte de él y dado su alto precio el proceso de extracción resulta demasiado costoso.

Los líquidos iónicos que contenían los cationes tiosalicilato y 2-metil-tiobenzoato resultaron adecuados para extraer Cu, Hg, Ni y Zn de soluciones que contenían 400 ppb con porcentajes de extracción entre 57 y 96%.

Basado en el concepto de líquidos iónicos soportados para extracción de metales son varios los estudios reportados a la fecha Agreda et al.⁴⁹ trabajaron con membranas tubulares o membranas de fibra hueca, SPMs que en general consisten de un material polimérico poroso (orgánico o inorgánico) cuyos poros están impregnados o en contacto con un extractante o transportador. Las principales ventajas de este material para extracción son: menos consumo de transportador, alta selectividad hacia la especie deseada, y además los procesos de extracción y despojamiento se hacen combinados en una sola etapa. Una membrana de fibra hueca impregnada con Aliquat1 336 como un eficiente transportador iónico se evaluó para la remoción de diferentes especies metálicas incluyendo cobalto(III), rodio(III), o cromo (VI), desde la fase acuosa a la fase de

despojando. Al igual que en el proceso de extracción líquido-líquido el mecanismo de extracción con el Aliquat1 como transportador se basa en intercambio iónico y asociación de iones.

En otro trabajo usando una membrana de fibra hueca impregnada con Aliquat1 336 (35%, v/v) como extractante y 0,5M NaOH como solución despojante se aplicó satisfactoriamente a la remoción de arsénico en agua de desecho.⁵⁰

Otro material utilizado son las membranas poliméricas de inclusión o PIMs, estas consisten de un material polimérico de alto peso molecular para proveerle estabilidad mecánica y un plastificante para proveerle elasticidad en el cual se embebe el extractante que facilita el transporte selectivo de los analitos.⁵¹ El cloruro de polivinilo (PVC) y el triacetato de celulosa (CTA) son los polímeros más comúnmente usados para la preparación de PIMs, puesto que son capaces de embeber el extractante y evitar su lixiviación; es importante mencionar que las propiedades mecánicas de las PIMs son similares a las de las membranas de filtración. Predominantemente, Aliquat1 336 se ha evaluado como transportador para la extracción de diferentes especies metálicas como Au(III) Cd(II), Cu(II), Co(II), Pd(II) y Zn(II) de soluciones acuosas acidificadas a través de mecanismos de intercambio iónico y asociación. Algunos de estos sistemas estudiados han demostrado tener muy lentos procesos de difusión además de que se observa lixiviación del líquido iónico en la fase acuosa.

También se han preparado PIMS basadas en difluoruro de polivinilideno, PVDF que tienen alta hidrofobicidad y buena estabilidad química, térmica y mecánica, en este caso el líquido iónico actúa como plastificante que influye en la morfología y la permeabilidad de la membrana se ha demostrado que estas membranas pueden ser re-usadas, aunque se observa una pérdida de permeabilidad con los ciclos de uso.

Otra alternativa interesante es la inmovilización de los líquidos iónicos es la encapsulación de líquido extractante en microcápsulas de poliestireno. Yang et al. (2005) investigaron la extracción de Cd(II), Cr(III), y Zn(II) de soluciones de ácido clorhídrico con Aliquat1 336 encapsulado en partículas de poliestireno.⁵²

El extractante encapsulado mostró alta estabilidad sobre un rango amplio de pH y las microcápsulas se pudieron regenerar y re-usar múltiples veces, justificando así su relativa compleja preparación.

8. CONCLUSIONES

Es importante destacar la importancia del concepto “Química Verde”, desde el cual se tiene una visión de la química más amigable con el medio ambiente y limpia, que permite vislumbrar un futuro sostenible del planeta.

Debido a la presencia de metales en el medio ambiente y sus efectos toxicológicos, es de vital importancia buscar técnicas alternativas que permitan su extracción de residuos contaminados, buscando remediar o mitigar tales efectos.

Gracias a las características que poseen los líquidos iónicos, día a día han tomado una gran relevancia en los estudios como agentes extractantes, en particular en procesos de extracción de metales pesados.

Los líquidos iónicos son ambientalmente amigables como consecuencia de las propiedades que los caracterizan, el poder acoplar diferentes aniones y cationes específicos para la extracción de uno o varios metales, adicional a variaciones de pH del medio los convierte en un método específico de extracción muy conveniente cuando se le compara con la extracción líquido-líquido con solventes orgánicos volátiles, COV.

La preparación de compuestos formados por un líquido iónico anclado a una matriz sólida permite preparar un material de extracción sólido y selectivo con posibilidad de re-uso y regeneración, este tipo de proceso de extracción es eficiente y rentable económicamente.

9. REFERENCIAS

- (1) Romero, K. Contaminación Por Metales. *Revista Científica Ciencia Médica SCEM*. 2009, pp 45–46.
- (2) SEMARNAT. *Metales Pesados*; 2009; Vol. 5.
- (3) Liliana Hernández, P.; Avila R, M.; Legorreta G., F.; Hernández C., L. EXTRACCIÓN LÍQUIDO-LÍQUIDO DE Zn (II) EN DIFERENTES MEDIOS EMPLEANDO COMO EXTRACTANTE CYPHOS IL 109. *Memorias del XX Congr. Int. en Metal. Extr. Hemosillo, Son. Mex.* **2011**, 3, 18–20.
- (4) México, O. La importancia de cuidar el agua <http://site.oxfammexico.org/la-importancia-de-cuidar-el-agua/>.
- (5) Frers, C. Aguas limpias. Primera parte <http://www.estrucplan.com.ar>.
- (6) Paola, N.; Castro, P.; Jesús, T.; Olivero, V. Química Verde: Un Nuevo Reto. *Cienc. E Ing. NEOGRANADINA* **2011**, 21-2, 169–182.
- (7) Marcilla, R.; Mecerreyes, D. Líquidos Iónicos: Fascinantes Compuestos Para La Química Del Siglo XXI. *An. la Real Soc. Española Química* **2005**, Segunda Ep, 22–27.
- (8) Prieto Bolívar, C. J. *El Agua: Sus Formas, Efectos, Abastecimientos, Usos, Daños, Control Y Conservación (3a. Ed.)*; 2011.
- (9) Samboni, N.; Reyes, A.; Carvajal, Y. Aplicación de Los Indicadores de Calidad Y Contaminación Del Agua En La Determinación de La Oferta Hídrica Neta. *Ing. y Compet.* **2011**, 13 (2), 49–60.

- (10) Ambientum. Clasificación de Aguas Residuales Industriales. *Rev. Ambient.* **2002**, 1–3.
- (11) Wiki. Ingeniería de Aguas Residuales. In *ProQuest ebrary*; 2007; p 238.
- (12) Parra, E. L.; Perez, J.; Leal, C.; Vallejo, M. del C. TOMO II - Contaminación Biológica, Física Y Química: Fuentes Y Efectos 1. In *Contaminacion Ambiental en Colombia*; 2010; pp 1–306.
- (13) Gómez Yepes, M. E.; Cremades, L. V. Estudio Del Manejo Del Plomo En Establecimientos de Tipografía , Reconstruccion de Baterías Y Recicladores de Chatarra En El Departamento Del Quindío , Colombia. *Cienc. y Trab.* **2013**, 46 (15), 7–11.
- (14) Hurtado, C. M.; Gutiérrez, M.; Echeverry, J. Aspectos Clínicos Y Niveles de Plomo En Niños Expuestos de Manera Paraocupacional En El Proceso de Reciclaje de Baterías de Automóviles En Las Localidades de Soacha Y Bogotá , D . C . *Biomédica* **2008**, 28 (1), 116–125.
- (15) Poma, P. A. *Intoxicación Por Plomo En Humanos*; 2008; Vol. 69.
- (16) Marrugo, J.; Lans, E.; Benítez, L. HALLAZGO DE MERCURIO EN PECES DE LA CIÉNAGA DE AYAPEL, CÓRDOBA, COLOMBIA FINDING. *MVZ Cordoba* **2007**, 12 (July 2004), 878–886.
- (17) Crespo-lópez, M. E.; Herculano, A. M.; Nascimiento, J. L. M. Mercurio Y Neurotoxicidad. *Rev. Neurol.* **2005**, 40 (7), 441–447.
- (18) Gracia, L.; Marrugo, J.; Alvis, E. Contaminación Por Mercurio En Humanos Y

Peces En El Municipio de Ayapel , Córdoba , Colombia , 2009. *Rev. Fac. Nac. salud Pública* **2010**, 28 (2), 118–124.

- (19) Nava-Ruíz, C.; Méndez-Armenta, M. Efectos Neurotóxicos de Metales Pesados (cadmio, Plomo, Arsénico Y Talio). *Arch. Neurociencias* **2011**, 16 (3), 140–147.
- (20) Araujo, C. I. Cuantificación Del Plomo, Mercurio Y Cadmio En Agua de Consumo Humano de Cinco Comunidades de El Salvador Por Espectrofotometria de Absorción Atomica, 2010.
- (21) Ramírez, A. Conceptos Actuales Para Evaluar Exposición Ambiental U Ocupacional Con Indicadores Biológicos. *An. Fac. Med.* **2002**, 63 (1), 51–64.
- (22) Rodríguez Serrano, M.; Martínez-de la Casa, N.; Romero-Puertas, M. C.; del Rio, L. A.; Sandalio, L. M. Toxicidad Del Cadmio En Plantas. *Rev. Cient. y Técnica Ecol. y Medio Ambient.* **2008**, 17 (3), 139–146.
- (23) Méndez, J.; Ramírez, César, A.; Gutierrez, A.; García, F. CONTAMINACIÓN Y FITOTOXICIDAD EN PLANTAS POR METALES PESADOS PROVENIENTES DE SUELOS Y AGUA. *Trop. Subtrop. Agroecosystems* **2009**, 10, 29–44.
- (24) Holguín, C.; Rubio, H.; Olave, M.; Saucedo, S.; Gutiérrez, M.; Bautista, R. CALIDAD DEL AGUA DEL RIO CONCHOS EN LA REGION DE OJINAGA, CHIHUAHUA: PARAMETROS FISICOQUIMICOS, METALES Y METALOIDES. *Univ. y Cienc.* **2006**, 22 (2), 51–64.
- (25) Rubio, C.; González Weller, D.; Martín-Izquierdo, R. E.; Revert, C.; Rodríguez, I.; Hardisson, a. El Zinc: Oligoelemento Esencial. *Nutr. Hosp.*

2007, 22 (1), 101–107.

- (26) Zn (Zinc Y Compuesto). *Minist. Agric. Aliment. y Medio Ambient.* 1–2.
- (27) Simon, E. *Los Metales Pesados En Las Aguas Residuales*; 2008.
- (28) Hidalgo, J. C.; Montano, J. J.; Sandoval, M. Recientes Aplicaciones de La Depuración de Aguas Residuales Con Plantas Acuáticas. *Theoria* **2005**, 14 (1), 17–25.
- (29) Alberto, C.; Fajardo, G. Remoción de Metales de Aguas Residuales Industriales. *Rev. Colomb. Química* **1985**, 14, 89–97.
- (30) Cotoruelo, L.; Maqués, D. Los Metales Pesados En Las Aguas (Y II) Acciones Químicas. In *Tratamiento de Aguas*; 1999; pp 213–219.
- (31) Acosta, G.; Barrera, C.; Bourdón, A.; Cuervo, E. La Electrocoagulación Como Un Tratamiento Eficiente Para La Remoción de Metales Pesados Presentes En Aguas Residuales. *Fac. Ciencias Básicas* **2013**, 9 (2), 306–318.
- (32) Ramírez Franco, J. H.; Martínez Ávila, Ó. M.; Fernández Ospina, L. M. Remoción de Contaminantes En Aguas Residuales Industriales Empleando Carbón Activado de Pino Pátula. *Av. Investig. en Ing.* **2013**, 10 (1), 42–49.
- (33) Hoof, B. Van. La Evolución Y El Futuro de La Producción Más Limpia En Colombia. *Rev. Ing. Univ. los Andes* **2007**, 26, 101–120.
- (34) García, F.; Dobado, J. Química Y Medio Ambiente Química Sostenible : Una Alternativa Creíble. *Quim. y Medio Ambient.* **2008**, 104 (3), 205–210.

- (35) Quadreny, R. M. Hacia La Química Ambiental a Traves de La Química. *An. la Real Soc. Quim.* **2008**, *segunda epo*, 58–65.
- (36) Vargas, E. O.; Pimiento, L. P. QUÍMICA VERDE EN EL SIGLO XXI; QUÍMICA. *Rev. Cuba. Quim.* **2007**, *XIX* (1), 29–32.
- (37) Blount, E. Uso de Disolventes Orgánicos En La Industria Disolventes Orgánicos En La Limpieza Y Desengrase de Piezas. *RIESGO TÓXICO.- Protección Ambient. Salud Labor. y Segur. Aliment.* 1–9.
- (38) Cerda Paz, A. Efectos de Solventes En Ambiente de Líquidos Iónicos En Reacciones Orgánicas, 2013.
- (39) Romero S., A. Líquidos Iónicos a Temperatura Ambiente : Un Nuevo Medio Para Las Reacciones Químicas. *Rev. Real Acad. Ciencias Exactas, Físicas y Nat.* **2008**, *102* (1), 79–90.
- (40) Molina, R. M. Hacia El Desarrollo Sostenible: Líquidos Iónicos Como Catalizadores Para La Transposición de Beckmann Y Reacciones de Formación de Enlaces CC, 2011
- (41) Díaz, J. C.; Martínez, R.; Barrero, R. *Líquidos Iónicos: Propiedades Fisicoquímicas Y Aplicación Potencial En El Mejoramiento de Crudos Pesados*; 2012.
- (42) Pérez de los Ríos, A. Los Líquidos Iónicos Como Nuevos Medios de Reacción Y Separación En Reacciones de Transesterificación Enzimáticas, 2007.

- (43) Garcia Bernal, E.; De Los Rios A., P.; Hernandez F., J.; Larrosa-Guerrero, A.; Ginestá, A.; Sánchez, S.; Lozano L., J. *Aplicaciones de Los Líquidos Iónicos En La Industria Química*; 2011.
- (44) Iglesias, M. *Diseño de Líquidos Iónicos Para Procesos Sostenibles*; 2009.
- (45) De Los Rios A., P.; Hernandez F., J.; Lozano L., J.; Ginestá, A.; Sánchez, S.; Larrosa, A.; Juan, G. D.; C., G. *Eliminación de Iones Metálicos de Disoluciones Acuosas Por Extracción Con Líquidos Iónicos*; 2011.
- (46) Fischer, L.; Falta, T.; Koellensperger, G.; Stojanovic, A.; Kogelnig, D.; Galanski, M.; Krachler, R.; Keppler, B. K.; Hann, S. Ionic Liquids for Extraction of Metals and Metal Containing Compounds from Communal and Industrial Waste Water. *Water Res.* **2011**, *45* (15), 4601–4614.
- (47) Wei, G.-T.; Yang, Z.; Chen, C.-J. Room Temperature Ionic Liquid as a Novel Medium for Liquid/liquid Extraction of Metal Ions. *Anal. Chim. Acta* **2003**, *488* (2), 183–192.
- (48) Zhao, H.; Xia, S.; Ma, P. Use of Ionic Liquids as “green” Solvents for Extractions. *J. Chem. Technol. Biotechnol.* **2005**, *80* (10), 1089–1096.
- (49) De Agreda, D.; Garcia-Diaz, I.; López, F. A.; Alguacil, F. J. Supported Liquid Membranes Technologies in Metals Removal from Liquid Effluents. *Rev. Metal.* **2011**, *47* (2), 146–168.
- (50) Pancharoen, U.; Poonkum, W.; Lothongkum, A. . Treatment of Arsenic Ions from Produced Water through Hollow Fiber Supported Liquid Membrane. *Alloy. Comp.* **2009**, *482* (1-2), 328.

- (51) Rahman, M.; Shoff, H.W.; Brazel, C.S. Ionic Liquids as Alternative Plasticizers for Poly(vinyl chloride): Flexibility and Stability in Thermal, Leaching, and UV Environments. In *Ionic Liquids in Polymer MSystems*; Brazel, C.S.; Rogers, R.D. eds.; American Chemical Society, 2005, 103–118.
- (52) Liu, Y.H.; Guo, L.; Zhu, L.L.; Sun, X.Q.; Chen, J. Removal of Cr(III, VI) by quaternary ammonium and quaternary phosphonium ionic liquids functionalized silica materials. *Chem. Eng. J.*, 2010, 158 (2): 108.

BIBLIOGRAFIA

De Agreda, D.; Garcia-Diaz, I.; López, F. A.; Alguacil, F. J. Supported Liquid Membranes Technologies in Metals Removal from Liquid Effluents. *Rev. Metal.* **2011**, *47* (2), 146–168.

De Los Rios A., P.; Hernandez F., J.; Lozano L., J.; Ginestá, A.; Sánchez, S.; Larrosa, A.; Juan, G. D.; C., G. *Eliminación de Iones Metálicos de Disoluciones Acuáticas Por Extracción Con Líquidos Iónicos*; 2011.

Díaz, J. C.; Martínez, R.; Barrero, R. *Líquidos Iónicos: Propiedades Fisicoquímicas Y Aplicación Potencial En El Mejoramiento de Crudos Pesados*; 2012.

Fischer, L.; Falta, T.; Koellensperger, G.; Stojanovic, A.; Kogelnig, D.; Galanski, M.; Krachler, R.; Keppler, B. K.; Hann, S. Ionic Liquids for Extraction of Metals and Metal Containing Compounds from Communal and Industrial Waste Water. *Water Res.* **2011**, *45* (15), 4601–4614.

García, F.; Dobado, J. Química Y Medio Ambiente Química Sostenible: Una Alternativa Creíble. *Quim. y Medio Ambient.* **2008**, *104* (3), 205–210.

Hidalgo, J. C.; Montano, J. J.; Sandoval, M. Recientes Aplicaciones de La Depuración de Aguas Residuales Con Plantas Acuáticas. *Theoria* **2005**, *14* (1), 17–25.

Hoof, B. Van. La Evolución Y El Futuro de La Producción Más Limpia En Colombia. *Rev. Ing. Univ. los Andes* **2007**, *26*, 101–120.

Liliana Hernández, P.; Avila R, M.; Legorreta G., F.; Hernández C., L. EXTRACCIÓN LÍQUIDO-LÍQUIDO DE Zn (II) EN DIFERENTES MEDIOS EMPLEANDO COMO EXTRACTANTE CYPHOS IL 109. *Memorias del XX Congr. Int. en Metal. Extr. Hemosillo, Son. Mex.* **2011**, 3, 18–20.

Liu, Y.H.; Guo, L.; Zhu, L.L.; Sun, X.Q.; Chen, J. Removal of Cr(III, VI) by quaternary ammonium and quaternary phosphonium ionic liquids functionalized silica materials. *Chem. Eng. J.*, 2010,158 (2): 108.

Molina, R. M. Hacia El Desarrollo Sostenible: Líquidos Iónicos Como Catalizadores Para La Transposición de Beckmann Y Reacciones de Formación de Enlaces CC, 2011

Pancharoen, U.; Poonkum, W.; Lothongkum, A. . Treatment of Arsenic Ions from Produced Water through Hollow Fiber Supported Liquid Membrane. *Alloy. Comp.* **2009**, 482 (1-2), 328.

Pérez de los Rios, A. Los Líquidos Iónicos Como Nuevos Medios de Reacción Y Separación En Reacciones de Transesterificación Enzimáticas, 2007.

Rahman, M.; Shoff, H.W.; Brazel, C.S. Ionic Liquids as Alternative Plasticizers for Poly(vinyl chloride): Flexibility and Stability in Thermal, Leaching, and UV Environments. In *Ionic Liquids in Polymer MSystems*; Brazel, C.S.; Rogers, R.D. eds.; American Chemical Society, 2005, 103–118.

Romero S., A. Líquidos Iónicos a Temperatura Ambiente : Un Nuevo Medio Para Las Reacciones Químicas. *Rev. Real Acad. Ciencias Exactas, Físicas y Nat.* **2008**, 102 (1), 79–90.

Wei, G.-T.; Yang, Z.; Chen, C.-J. Room Temperature Ionic Liquid as a Novel

Medium for Liquid/liquid Extraction of Metal Ions. *Anal. Chim. Acta* **2003**, 488 (2), 183–192.

Zhao, H.; Xia, S.; Ma, P. Use of Ionic Liquids as “green” Solvents for Extractions. *J. Chem. Technol. Biotechnol.* **2005**, 80 (10), 1089–1096.