

QUÍMICA ORGÁNICA PARA ESTUDIANTES DE INGENIERÍA DE MINAS E INGENIERÍA METALÚRGICA

MAURELIA GÓMEZ, R.

Departamento de Ciencias Naturales, Facultad de Ingeniería, Universidad de Atacama, Casilla 240, Copiapó (Chile).

SUMMARY

Organic Chemistry is usually related to agricultural, pharmaceutical, alimentary, petroleum and derivate industries among others. However, the use of organic substances in other different industrial fields, like mining and metallurgy has increased and it is hoped that this increment will go on in the future. In this paper, a brief review of this kind of substances was realized. Besides, an Organic Chemistry Program for Mining and Metallurgy Engineering students is proposed.

INTRODUCCIÓN

La incorporación creciente en la segunda mitad del siglo de poderosas técnicas instrumentales para dilucidar o confirmar estructuras, tales como la espectroscopía y la cristalografía de rayos X y el desarrollo de nuevos procedimientos preparativos, han imprimido un fuerte impulso a la síntesis orgánica (Cohendet et al. 1989). A lo anterior debe agregarse el almacenamiento y manejo de la información a través de la informática, la robotización de las operaciones y la «funcionalización» de los métodos sintéticos. Esto último se refiere a considerar en ellos la función que deberán cumplir los productos, sus vías de eliminación, sus condiciones de empleo y eventualmente la valorización de los subproductos, concepto que ha trasladado la atención desde la química del producto a la química de la función. Estos avances han posibilitado el desarrollo de la síntesis orgánica también desde el punto de vista industrial (Ourisson 1990) y han facilitado la obtención de una variada gama de compuestos cuyas aplicaciones alcanzan todas las ramas de la industria, siendo el sector minero-metalúrgico un ejemplo relevante. Ya en 1967 se estimaba que solamente las ventas de polímeros orgánicos a la industria minera norteamericana excedían los 4 millones de dólares anuales y la proyección era de 40 millones al cabo de 10 años (McLean 1968).

Adicionalmente, debe señalarse que las actividades minero-metalúrgicas tienen la tendencia a hacerse «más químicas» debido a la evolución tecnológica de los

procesos y a la disminución de las leyes de los yacimientos. Algunos especialistas han señalado la necesidad de expertos en termodinámica, cinética de procesos y equilibrios químicos entre los profesionales del sector para hacer frente a esta realidad (Sutulov 1978). La química orgánica se aproxima cada vez con más énfasis a estas prioridades y debe pensarse en incorporar algunos de sus elementos en los currículos de las carreras que involucran a este tipo de profesionales.

La introducción de elementos de química orgánica en los currículos de ingeniería de minas e ingeniería metalúrgica, permitiría:

- a) Facilitar a los estudiantes la comprensión de los procesos u operaciones minero-extractivas basados, o en los que participen, compuestos orgánicos.
- b) Promover la interacción de ingenieros de minas y metalúrgicos con profesionales químicos en estudios interdisciplinarios.
- c) Reunir, en un cuerpo estructurado y coherente, contenidos actualmente dispersos en asignaturas de especialidad dentro del currículo.
- d) Familiarizar a estudiantes de estas especialidades con materiales que tienden a reemplazar los metales en algunas aplicaciones.

DETERMINACIÓN DE CONTENIDOS

En el presente trabajo se realiza una revisión de las etapas de obtención de minerales (ingeniería de minas) y su posterior procesamiento hasta la elaboración de piezas metálicas (ingeniería metalúrgica) (Peele 1927, Young 1955 y Schulz 1978). En esta secuencia se identifican los compuestos orgánicos utilizados y se especifica la función que cumplen en los procesos en que están insertos. En esta revisión se han considerado aplicaciones más bien específicas y no comunes a cualquier tipo de industria, como combustibles, lubricantes, etc. Esta información se resume en las tablas I y II (Kirk y Othmer 1962, McLean 1968, Karger et al. 1973, Catálogo Hoesch 1980, Jarufe 1986, Arriaza 1986, Catálogo Allied Colloids 1986).

La función orgánica a que pertenecen las sustancias identificadas, las propiedades físicas y químicas que sustentan su rol en los procesos respectivos y los aspectos estructurales que determinan dichas propiedades han servido de base para diseñar un Programa de Química Orgánica que en términos generales pueda satisfacer los requerimientos curriculares antes mencionados.

En esta proposición se ha tratado de observar una apropiada dosificación de contenidos con el objeto de que su eventual implementación, ya sea en carácter de asignatura obligatoria o electiva, no signifique un recargo de estos currículos, de suyo extensos y, más aún, de los cuales se piensa que deberán acentuar progresivamente su componente en otras áreas, como gestión y negocios (Whiting y Duncan 1988).

ESTRUCTURA DEL PROGRAMA PROPUESTO

Introducción

Naturaleza de la química orgánica. Estructura molecular y propiedades de las sustancias químicas: Representación de compuestos orgánicos, fórmulas estructurales. Funciones orgánicas y grupos funcionales. Series homólogas.

Hidrocarburos

Nomenclatura. Características estructurales: Geometría molecular, isomería. Propiedades físicas. Fuente natural y obtención. Combustión y combustibles. Hidrocarburos como materias primas.

Compuestos orgánicos oxigenados

Alcoholes, fenoles, éteres, aldehídos y cetonas: Nomenclatura. Obtención industrial. Rasgos estructurales. Propiedades físicas y químicas. Importancia industrial. Compuestos 1,3 dicarbonílicos: equilibrio ceto-enólico, propiedades quelantes.

Ácidos carboxílicos y derivados

Ácidos y sales carboxílicas, cloruros de ácidos, anhídridos, ésteres y amidas. Obtención. Aspectos estructurales. Propiedades físicas y químicas. Importancia industrial.

Compuestos orgánicos nitrogenados

Aminas, sales de amonio cuaternarias y nitrilos: Obtención. Aspectos estructurales. Propiedades físicas y químicas. Importancia industrial.

Compuestos organosulfurados, organofosforados y polifuncionales

Nomenclatura de compuestos orgánicos polifuncionales. Ésteres de los ácidos carbónico, nítrico, carbámico, sulfúrico, sulfónico y fosfónico y sus respectivos derivados sulfurados: Nomenclatura, propiedades físicas y químicas.

Polímeros y polimerización

Conceptos preliminares. Clasificación de polímeros. Propiedades físicas y estructura. Procesos de polimerización. Polímeros naturales.

Aplicaciones de los productos orgánicos a la minería

Introducción

Extractantes líquido-líquido y sólido-líquido de iones metálicos en solución. Explosivos. Reactivos de flotación. Floculantes y dispersantes.

En el primer capítulo se dan los elementos introductorios a la química orgánica, su naturaleza, campo de acción y vinculación con otras ciencias. Se clasifican los compuestos orgánicos y se indican formas de representarlos.

Entre los capítulos 2 y 7, se describen las funciones orgánicas más relevantes, su nomenclatura IUPAC y trivial, propiedades físicas y químicas, la forma de obtenerlas desde fuentes naturales o sintéticas; como asimismo los compuestos de mayor importancia industrial y sus aplicaciones de mayor interés.

Dada la diversidad de aplicaciones de polímeros a la industria minera y metalúrgica, estos compuestos se tratan en un capítulo aparte (cap. VIII), se clasifican, se describen sus propiedades y las diferentes reacciones de polimerización.

La orientación que se pretende dar al programa se fundamenta en el capítulo VIII, donde se discute la participación de compuestos orgánicos en determinadas operaciones importantes de esta rama de la industria. Sin perjuicio de lo anterior, cuando se estudian las distintas funciones orgánicas en los capítulos 2 al 7, se hace mención a

Tabla I

Sustancias orgánicas utilizadas en ingeniería de minas.

Etapa de la obtención de minerales	Operaciones involucradas	Función	Sustancias orgánicas
1. Prospección	-	-	-
2. Reconocimiento	Sondaje	Aditivos para lodos: viscosificantes, emulsificantes	Cortes de petróleo, almidón carboximetilcelulosa, sulfonatos de lignina
3. Planificación	-	-	-
4. Preparación e infraestructura	Construcción superficial o subterránea	Acondicionamiento y consolidación de suelos arenosos	Resinas epóxicas, copolímeros de acrilamida
		Rellenos químicos para pernos de anclaje	Resinas de poliéster, poli-acrilamidas
		Rellenos de formaciones rocosas fracturadas	Resinas epóxicas, poliésteres
		Cubiertas protectoras contra erosión y generación de polvos en techos y túneles	Poliésteres, poliuretanos, resinas epóxicas (emulsiones)
	Labores mineras	Sellantes de fisuras y filtraciones de agua	Resinas epóxicas, poliuretanos clorosulfonado
		Cañerías antiácidos para drenajes de agua de mina	P.V.C., poliuretanos, polietileno clorosulfonado
		Recubrimiento de cañerías contra corrosión y abrasión	Resinas epóxicas, PVC
	Instalaciones de equipos	Protección antiimpacto de equipo pesado	Poliésteres
		Cañerías de ventilación	Polietileno, resinas de poliéster
		Sellantes y aislantes térmicos de ventilación	Poliuretanos, policloropreno
5. Explotación	Perforación (petrolífera)	Retardantes de llama	Poliuretanos
	Tronadura	Emulsificantes, viscosificantes y anticontaminantes de lodos de perforación	Sales sódicas de terpineoles y carboximetilcelulosa, almidón, fenoles, polioxietileno, sulfonatos de lignina
	Carguío	Explosivos	Derivados nitrados de polioles, fenoles, hidrocarburos aromáticos y celulosa
	Transporte	-	-
		Aglomeraciones de finos para prevenir pérdidas por viento y lluvia	Copolímeros de: estireno, butadieno, acrilato de etilo

Tabla II

Sustancias orgánicas utilizadas en ingeniería metalúrgica.

Área de metalurgia	Operación o proceso unitario	Función	Sustancias orgánicas
1. Metalurgia extractiva	Chancado, molienda, cribado	Aglomerantes de finos para contrarrestar formación de polvos en conminución y pérdidas en almacenamiento	Copolímeros de estireno, butadieno, acrilato de etilo
1.1. Preparación de minerales	Flotación	Rellenos y recubrimientos antiimpacto y revestimientos antiabrasión	Resinas de poliéster, poliuretanos, PVC
		Colectores	Xantatos y ditiofosfatos alcalinos, tionocarbamatos, tiocarbamatos, tiocarbamilida, xantoforiatos, sulfonatos alcalinos, ácidos grasos, aminas, sales de amonio cuaternarias
		Espumantes	Alcoholes naturales y sintéticos, fenoles, parafinas alcoxi-sustituidas, cetonas
		Modificadores, recubridores, depresantes	Poliacrilamida, dextrina, almidón, carboximetil-celulosa
	Filtrado, sedimentación y transporte hidráulico	Floculantes	Polímeros de la acrilamida y N, N-metilenbisacrilamida
		Dispersantes, «antiqueque» y anticongelantes	Aminas, policrilamidas de bajo peso molecular
		Cañerías antifonnación de depósitos	PVC
	Lixiviación	Lixiviantes	Tiourea (para Au y Ag)
		Telas impermeables para evitar percolación de soluciones tóxicas	Poliuretanol
		Cañerías, <i>fittings</i> y revestimientos resistentes a la abrasión, corrosión y ácidos	Resinas epóxicas, polietileno y polipropileno de alta densidad, PVC de alto impacto, poliuretano, polietileno clorosulfurado.
1.2. Procesos unitarios	Electrorecuperación y electrorefinación	Reguladores (inhibidores) de electrodeposición	Polímeros de acrilamida, tiourea, derivados de la lignina, caseína, sulfonatos de sodio, aminas aromáticas
	Proceso hidrometalúrgico	Solventes y extractantes de especies metálicas desde solución acuosa	Cortes de petróleo, hidroxilaminas, hidroxioximas, hidroxiquinolinas, aminas, sales de amonio cuaternarias, ésteres y óxidos del ácido fosfórico, ácidos carboxílicos, ésteres, cetonas

Tabla II (continuación)

Área de metalurgia	Operación o proceso unitario	Función	Sustancias orgánicas
2. Metalurgia adaptiva 2.1. Procesamiento de metales	Fusión y colada	Resinas de intercambio iónico	Resinas de copolímeros estireno-divinilbenceno sulfonadas y aminadas
		Cañerías y revestimiento para soluciones corrosivas y líquidos orgánicos	PVC alto impacto, poliuretano
		Aglomerantes de arenas para moldes y almas	Resinas amínicas, fenólicas, alquídicas, arflicas fenoformaldehído, urea-formaldehído y polímeros furánicos
		Pelletizadores	Copolímeros de acrilamida y derivados de celulosa
		Construcción de matrices para moldes	Resinas epóxicas, pliacrilamidas, poliuretanos, polímeros vinílicos, resinas de poliéster
2.2. Metalurgia de aplicación	-	Rellenos de moldeo en <i>Full Mold Process</i>	Espumas de poliestireno
		Antiprecipitantes para agua en camisas de refrigeración de hornos	Polímeros de acrilamida
		-	-

aplicaciones específicas; por ejemplo, cuando se tratan los alcoholes y fenoles, se describen algunos que se emplean como espumantes y otros que como derivados nitrados se utilizan como explosivos, etc.

Atendiendo a que tanto los compuestos químicos estudiados como también las operaciones industriales en las que se insertan son frecuentemente vinculados a problemas ambientales, este aspecto es incorporado en el desarrollo del curso. Así, ya en el capítulo introductorio se destaca que, si bien algunos compuestos orgánicos como por ejemplo los halogenuros de alquilo pueden contribuir al desarrollo tecnológico y al confort de la humanidad en aplicaciones como refrigerantes o propelentes de lacas, pinturas, aromatizantes, etc., del mismo modo, utilizados en gran escala, pueden desencadenar problemas ambientales severos desde un punto de vista global, como, en este caso, la alteración del ciclo natural del ozono atmosférico.

Determinados temas son propicios para incorporar la dimensión ambiental. Tal es el caso del capítulo de hidrocarburos, donde en forma natural emergen los pro-

blemas de desaparición de fuentes naturales no renovables, necesidades de fuentes energéticas alternativas a los combustibles fósiles, agudización del efecto invernadero por aumento de CO₂ generado en las combustiones, entre otros. En el capítulo de polímeros se menciona la resistencia a la biodegradabilidad de los plásticos. El mismo aspecto se destaca en la discusión de compuestos organosulfurados y organofosforados tensoactivos utilizados como detergentes sintéticos, incluyendo, en este último caso, como consecuencia, la eutroficación de recursos hídricos.

Durante todo el desarrollo del programa, al describir las propiedades de los compuestos orgánicos, cuando es del caso, se pone énfasis en su actividad biológica, para inferir precauciones de manejo por parte de eventuales usuarios, tanto en su manipulación, como en la disposición de sus residuos.

Finalmente, así como se describen riesgos y problemas ambientales generados por sustancias orgánicas especialmente en el capítulo VIII, del mismo modo se menciona el uso de algunos de ellos en acciones remediales

de dichos problemas. Por ejemplo el empleo de aerosoles poliméricos para prevenir generación de polvo en ambientes subterráneos y otras faenas, resinas quelantes o intercambiadoras que pueden disminuir descargas metalogénicas de soluciones residuales emitidas al ambiente, polímeros hidrosolubles floculantes que clarifican aguas industriales, etc.

Este curso ha sido diseñado para un semestre de duración (18 semanas lectivas) con 4 a 5 horas semanales. Como prerrequisito exige Química General y es deseable que los alumnos se hayan interiorizado de sus respectivas

especialidades, ya que esto facilita el logro de los objetivos que se propone su formulación.

AGRADECIMIENTOS

El autor desea expresar su agradecimiento a los profesores Ángel Astorga y Enrique Santibáñez de los Departamentos de Ingeniería Metalúrgica e Ingeniería de Minas de la Universidad de Atacama respectivamente, por sus valiosos aportes y sugerencias.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLIED COLLOIDS, LTD., 1986. *Catálogo «Allied Colloids Health, and Safety Information»*. (Yorkshire).
- ARRIAZA, M., 1986. *Estudio de Inhibidores en Electrorefinación de Cobre*. Trabajo de titulación para ingeniero de ejecución (Universidad de Atacama: Copiapó).
- COHENDET, P., HERAUD, J.A. y LEDOUX, M.J., 1989. *Quelle Chimie Pour L'An 2000?*, *La Recherche*, Vol. 20, pp 1254.
- HOECHST, 1980. *Catálogo Hoechst: Flotations reagenzien*: Frankfurt.
- JARUFE, K., 1987. Extracción por Solventes: Nueva técnica para recuperar metales, *Minería Chilena*, 77, p. 33.
- KARGER, K., SNYDER, L. y HORVALTH, C., 1973. *An Introduction to Separation Science*. (John Wiley & Sons: Nueva York).
- KIRK, R., OTHMER, D., 1961. *Enciclopedia de Tecnología Química*, Vol. 11, pp. 881. (UTEHA: México).
- MCLEAN, D.C., 1968. *Enciclopedia of Polymer Science and Technology*, Vol. 2, pp. 798-812. (John Wiley & Sons: Nueva York).
- OURISSON, P. G., 1990. *Sans La Chemie, Rien Ne Va, La Recherche*, Vol. 21, pp. 1159.
- PEELE, R., 1927. *Mining Engineers Handbook*. (John Wiley & Sons Inc.: Londres).
- SCHULZ, B., 1978. *Introducción a la Metalurgia*. (Publicación Interna. Departamento de Metalurgia Universidad Técnica del Estado. Santiago. Chile).
- SUTULOV, A., 1978. Editorial: «Química y Minería», *Revista Chilena Educación Química*, Vol. 3 (4), pp. 202.
- WHITING, J., DUNCANN., 1988. Educating Mining Engineers for the 21st Century, *CIM Bulletin*, Vol. 81 (914), pp. 41.
- YOUNG, G.J., 1955. *Elementos de Minería*. (Gustavo Gili: Barcelona).