

Manejo de sustancias de alto riesgo en el laboratorio de química

Joaquín Palacios A. y Martha Arévalo M.*

Introducción

Cada día cobran mayor importancia los aspectos relacionados con el control de la contaminación ambiental, especialmente en las industrias que manejan una cantidad importante de sustancias, como es la petroquímica. El sistema SIMAR (Sistema de Identificación de Materiales de Alto Riesgo) nos proporciona un método guía para identificar y usar correctamente los materiales, especialmente aquellos que representan un alto riesgo para la salud y seguridad de la comunidad. En este trabajo se presenta una ampliación al sistema SIMAR, que consiste en identificar y caracterizar los reactivos con énfasis en la obtención de sus propiedades fisicoquímicas, bajo condiciones diferentes a las ideales, (como son las de la ciudad de México). Por este medio es posible predecir su comportamiento y proponer recomendaciones para el almacenamiento y empleo. Se encontró que el método permite iniciar al estudiante de química de nivel licenciatura, así como entrenar al nuevo personal en la industria.

Desarrollo

Al aplicar el sistema SIMAR a un laboratorio de la


* División de Estudios de Posgrado, Facultad de Química, UNAM, 04510 México D.F.

Recibido: 26 de junio de 1990; Aceptado: 2 de octubre de 1990.

Facultad de Química de la UNAM se encontró que esta metodología nos brinda la oportunidad de presentar los materiales (sustancias) a los alumnos, de una manera directa y práctica, pues sabemos que ellas constituyen el interés fundamental de la química y son su herramienta de trabajo. El sistema SIMAR clasifica los reactivos de acuerdo con cuatro propiedades: inflamabilidad, labilidad, toxicidad (LD_{50}) y equipo de seguridad para su manejo sin riesgo. En nuestro proyecto se incluyeron dos parámetros más: su colocación en el laboratorio y la cantidad máxima recomendada para su manejo, todo en el mismo reporte. Se emplea una escala de 0 a 4 para cada propiedad, en la cual 0 se da, por ejemplo, a la sustancia con menor toxicidad, y el 4 le corresponde a aquellas sustancias muy peligrosas que tienen una alta toxicidad. La información se concentra y presenta de una manera visual, en forma de una etiqueta en la que se combinan colores, parte cualitativa y números del 0 al 4 para la parte cuantitativa. El color rojo se asigna a la inflamabilidad, azul para la toxicidad, amarillo para labilidad; sobre fondo blanco se presentan los equipos de seguridad requeridos en cada caso. Las etiquetas para los frascos de reactivos pueden ser rectangulares o circulares. En la figura 1 se presenta a manera de ejemplo la etiqueta del peróxido de benzoilo, un iniciador muy empleado para la producción de radicales libres en la industria de los polímeros. En este caso el

ROJO
(INFLAMABILIDAD)

AZUL
(TOXICIDAD)

4	3
3	

AMARILLO
(LABILIDAD)

BLANCO
(EQUIPO DE SEGURIDAD)

Figura 1. Etiqueta para el peróxido de benzoilo.

Tabla 1. Clasificación de líquidos.

	Clave	Punto flash	Punto de ebullición
Líquidos inflamables	4-IA	<22.8 °C	<37.8 °C
	3-IB	<22.8 °C	>37.8 °C
	2-IC	>22.8 °C y <37.8 °C	
Líquidos combustibles	1-II	>37.8 °C y <60.0 °C.	
	0-III	>60 °C	

número 4 sobre fondo rojo nos indica grado máximo de inflamabilidad del material, el 3 sobre fondo amarillo es indicativo de un alto grado de labilidad, la sustancia reacciona rápidamente con el agua, hidrocarburos insaturados, compuestos halogenados. Con relación al área de salud, al compuesto le corresponde un 3 enmarcado en azul, que corresponde a materiales de alto riesgo. Es necesario el uso de guantes de hule y cubre boca para el manejo seguro de este reactivo, como se puede ver en la parte correspondiente de la etiqueta.

Al intentar clasificar a los materiales de acuerdo con nuestro sistema, encontramos que existe poca información sobre toxicidad. Respecto a los criterios para la clasificación de acuerdo con su inflamabilidad, la información está reportada para sustancias muy puras, bajo condiciones de una atmósfera, al nivel del mar y temperatura de 20 °C. Esto es comprensible, pues la gran mayoría de los datos fueron obtenidos en los laboratorios de los países nórdicos. Por otro lado, las ciudades latinoamericanas se encuentran localizadas a una gran altura sobre el nivel del mar, otras a lo largo de la costa, las que presentan un clima tropical caracterizado por alta temperatura y humedad en el ambiente. La dificultad de contar con la información adecuada para la clasificación de reactivos, presenta a la vez la oportunidad de introducir y estudiar principios fisicoquímicos y sus leyes, como el cálculo de la presión de vapor, de los puntos de ebullición y de congelación, que sirven de base para la clasificación de los líquidos en inflamables y combustibles (Tabla 1). Así, las ecuaciones (1) y (2) nos permiten calcular la variación de la presión de vapor y los puntos de ebullición con la presión atmosférica, respectivamente:

$$\log P^{\circ} = \frac{L}{2.3 RT} \quad (1)$$

$$P^{\circ} = P_{Local} \quad T = T_b \quad (2)$$

Estos conceptos conducen a la formulación de reglas y recomendaciones para el almacenamiento de sustancias en recipientes de plástico, vidrio, metálicos y metálicos con dispositivos de seguridad con el volu-

Tabla 2. Recipientes y capacidades recomendados.

Tipo de recipiente	Cantidad máxima recomendable para uso diario (L)				
	IA 4	IB 3	IC 2	II 1	III 0
Vidrio o plástico aprobado	0.25	0.97	3.78	3.78	3.78
Metálico	3.78	18.9	18.9	18.9	18.9
Metálico de seguridad	7.56	18.9	18.9	18.9	18.9

men recomendable (Tabla 2). En muchas ocasiones es necesario mantener los reactivos a bajas temperaturas, durante la síntesis, para su purificación por cristalizaciones o en almacenaje. Para ello es mejor revisar antes los métodos prácticos y económicos para la preparación de mezclas frigoríficas en las que se usan H₂O, sales inorgánicas, disolventes como la acetona o el metanol con CO₂ (sólido), el cual es fácil de obtener. El descenso en el punto de congelación cuantificado por medio de la ecuación (3)

$$\Delta T_f = \frac{m \Delta p}{p^{\circ}} = k \frac{m_2 M_1}{m_1 M_2} = K_f \frac{1000 m_2}{m_1 M_2} \quad (3)$$

nos habla de la constante crioscópica. Así, para el caso del sistema agua-nitrato de amonio, el punto de congelación del agua desciende hasta -21 °C, con una $\Delta T = -21.4$ °C. (Véase Tabla 3 para mayor información sobre mezclas de bajo punto de congelación.)

Con respecto a la labilidad o reactividad química de las sustancias, sabemos que esta propiedad está ligada a la fuerza ácida o básica y se cuantifica a través del pK_a o pK_b por medio de las ecuaciones (4) y (5):

$$K_a = \frac{H^+ A^-}{HA} \quad pK_a = -\log K_a \quad (4)$$

$$K_b = \frac{BH^+ OH^-}{B} \quad pK_b = -\log K_b \quad (5)$$

Tabla 3. Mezclas frigoríficas.

	ΔT (°C)	
	de	a
1 p. agua + 1 p. nitrato amónico	+10°	-15°
1 p. agua + 1 p. nitrato amónico + 1 p. cloruro amónico	+8°	-21°
3 p. hielo picado + 1 p. cloruro sódico	0°	-21°
1.2 p. hielo picado + 2 p. CaCl ₂ · 6 H ₂ O	0°	-39°
1.4 p. hielo picado + 2 p. CaCl ₂ · 6 H ₂ O	0°	-55°
Metanol (o acetona) + CO ₂ sólido	+15°	-77°

Tabla IV: Fuerza ácida relativa

	pK _a
Acidos minerales	0-1
Ac. tricloroacético	0.1
Ac. pícrico (trinitrofenol)	0.8
Ac. dicloroacético	1.3
Ac. oxálico	1.5
Ac. cloroacético	2.8
Ac. fórmico	3.7
Dinitrofenoles	4.0
Ac. benzóico	4.2
Ac. acético	4.7
Nitrofenoles	7-8
Ac. carbónico	8-9
Fenoles simples	10

Estos conceptos tan útiles y de uso diario nos llevan a la identificación y clasificación de los ácidos en: fuertes, corrosivos y peligrosos, comparados con otros que son débiles, poco reactivos y fáciles de manejar, como el acético, los fenoles simples —cuando el valor del pK_a es elevado, superior a 9, ver Tabla 4.

Como se puede ver en este caso, son las propiedades de las disoluciones de electrolitos y no electrolitos las que se pueden estudiar.

Con respecto a la toxicidad de las sustancias, pocas expresiones cuantitativas se han propuesto para explicar la relación estructura-actividad biológica; por ello, en este punto nos basamos en los criterios bioquímicos y farmacológicos que establecen límites de concentración ($\mu\text{g}/\text{kg}$) para distinguir a las sustancias altamente tóxicas, ver Tabla 5.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha fijado los niveles máximos de concentración permisibles para los disolventes orgánicos en el ambiente de trabajo, para jornadas de 8 horas. Estos datos complementan la información que sobre toxicidad se ha discutido antes. Así, sustancias como el benceno, considerado un cancerígeno potencial, sólo puede flotar en el ambiente en concentraciones inferiores a $30 \text{ mg}/\text{m}^3$, equivalente a

10 ppm. En cambio, para el octano, un hidrocarburo menos tóxico, se pueden tolerar hasta $1450 \text{ mg}/\text{m}^3$, es decir, 300 ppm, en un lugar de trabajo o de investigación. Otros datos comparativos se pueden ver en la Tabla 6. El tema permite discutir y revisar las diferentes formas de expresar la concentración y las relaciones de transformación entre ellas, así como también se puede estudiar el tema de las densidades de los gases y su cálculo a diferentes condiciones de temperatura y presión.

Con relación a las cantidades recomendadas para su manejo en el laboratorio, los criterios generales se presentan en la Tabla 2, en la cual se puede ver que, de las sustancias clasificadas como muy inflamables, marcadas con el número 4, se debe tener en el laboratorio sólo una pequeña cantidad, por ejemplo 250 mL. Si se requiere una mayor cantidad para su uso diario se emplearán recipientes metálicos de seguridad de hasta 7.56 L de capacidad. Se recomienda el empleo de recipientes de plástico siempre que esto sea posible, pues como son muy resistentes al impacto se reduce el riesgo de un derrame de líquidos por fractura.

Las sustancias volátiles e inflamables, así como las de alta reactividad, se colocarán en los lugares más frescos y secos del laboratorio. Los líquidos en la parte baja de las gavetas, los sólidos en la parte alta; de esta manera se minimiza el riesgo de explosión o fuego por derrame o contacto con fuente de calor. Los gases se manejan siempre con gran cuidado. Los tanques estarán en un lugar fresco, alejado del laboratorio hasta donde llegará la corriente entubada. Se recomienda controlar y revisar frecuentemente las válvulas.

Conclusiones

El uso del sistema SIMAR puede introducirse desde los primeros años de la enseñanza a nivel profesional en las carreras de Química, pues presenta una oportunidad única para el estudio de las sustancias y elementos que son la herramienta básica de trabajo del químico.

Cuando se pide al estudiante que clasifique los materiales que usa en las prácticas o en sus proyectos de investigación de acuerdo con el sistema, se propicia

Tabla 5. Referencia para la clasificación de las sustancias de elevada peligrosidad por su toxicidad.

Clase	LD ₅₀ para la rata, LC para la rata (mg/kg de peso corpóreo)				LD ₅₀ para la rata, LC para la rata (mg/L en volumen por hora de exposición)
	ORAL		CUTÁNEA		RESPIRATORIA
	Sólidos	Líquidos	Sólidos	Líquidos	Gases
I. Extremadamente peligrosa.	< de 5	< de 20	< de 10	< de 40	< de 400
II. Altamente peligrosa.	5-50	20-200	10-100	40-400	400-4000
III. Moderadamente peligrosa.	50-500	200-2000	100-1000	400-4000	4000-40000
IV. Ligeramente peligrosa.	> a 500	> a 2000	> a 1000	> a 4000	—

y alcanza un alto grado de profundización e integración de los conocimientos que se le presentan en disciplinas como fisicoquímica, química orgánica, farmacología, química analítica e ingeniería química. Esto se logra de una manera natural en contacto directo con los hechos observables; también se pueden comprobar los cálculos teóricos sobre predicciones del comportamiento de los materiales.

En la literatura científica existe poca información sobre las propiedades fisicoquímicas y toxicológicas de las sustancias; específicamente, en cuanto se refiere a las propiedades bajo las condiciones de temperatura y presión locales. A través del proyecto se estimula a los estudiantes a determinar experimentalmente o a calcular estos valores (locales), lo cual representa un esfuerzo importante y un ejercicio fructífero. Por estos medios se favorece el aprendizaje de técnicas analíticas, la asimilación de las tecnologías y el control efectivo de los procesos en forma cuantitativa.

El sistema proporciona información visual directa sobre las características de las sustancias y el equipo de seguridad necesario para su empleo sin riesgo. A través del proceso de clasificación y acomodo de los reactivos en espacios físicos adecuados dentro del laboratorio, se va generando una cultura química, un sentido de responsabilidad por la salud de las personas que trabajan con nosotros y por el uso adecuado de las sustancias, además de un interés por la preservación del medio ambiente. Creemos que el punto más importante lo constituye la concientización del químico sobre su papel de director y responsable de los procesos, así como del control de los efectos adversos sobre el medio ambiente, por el uso inadecuado de las sustancias.

Bibliografía

- Bennett, G., *Hazardous Materials Spills Handbook*, Mc. Graw Hill, Nueva York, 1982.
- Blace, R.P., *Seguridad industrial*, Diana, México D.F., 1970.
- Green, M.E., *Safety in Working with Chemicals*, Mc. Millan Nueva York, 1978.
- Lefevre, M., *First Aid for Chemical Accidents*, Academic Press, Nueva York, 1980.
- Pipitone, D.A., Safe Chemical Storage: A pound of Prevention is Worth a Ton of Trouble, *J. Chem. Educ.* 59, A 159-163 (1982).
- Pipitone, D.A., *Safe Store of Laboratory Chemicals*, J. Wiley Nueva York, 1984.
- Sax, N., *Dangerous Properties of Industrial Materials*, Van Nostrand Reinhold Co, Nueva York, 1979.
- Norma 704 - NFPA; *Identification of the Fire Hazards of Materials*. Emergency Responds, U.S. Department of Transportation, 1987.
- Reglamento General de Seguridad e Higiene en el Trabajo*, Secretaría del Trabajo y Previsión Social, IMSS, Diario Oficial del 31 de mayo, 1989.

Tabla 6. Niveles máximos de concentración permisibles de algunos disolventes en el ambiente y los centros de trabajo para jornadas de 8 horas.

Contaminante	Concentración	
	ppm	mg/m ³
Acido sulfúrico	—	1.0
Acrilamida (piel)	—	0.3
Acrilato de butilo	10	55
Acrilato de etilo (piel)	5	20
Acrilato de 2-hidroxipropilo (piel)	0.5	3
Acrilato de metilo (piel)	10	75
Acrilonitrilo (piel)	2A.2	4.5A.2
Acroleína	0.1	0.25
Alcohol alílico (piel)	2	5
Anhídrido maléico	0.25	1
Benceno	(10)A.2	30A.2
Butano	800	1900
Ciclohexeno	300	1015
Cloro	1	3
Clorobenceno (mono clorobenceno)	75	350
Cloroformo	10A.2	50A.2
o-Clorotolueno (piel)	50	250
Cloruro de vinilideno	10	40
Cloruro de vinilo	10A.1	20A.1
Cresol en todos los isómeros (piel)	5	22
Cumeno (piel)	50	245
Dihidroxibenceno (hidroquinona)	—	2
Dimetilformamida	20	60
Ftalato de dibutilo	—	5
Glicidol (2,3-epoxi-1-propanol)	50	150
Hexacloroetano (piel)	10 100	
Hexilen glicol	25	125
Metil 2-ciano acrilato	2	8
Metil metacrilato	100	410
Nitrobenceno (piel)	1	5
Oxido de etileno	45	90
Pentaeritritol	—	B.1
Peróxido de benzoilo	—	5
Peróxido de metiletilcetona	0.2	1.5
Piridina	5	15
1,1,2,2-tetracloroetano (piel)	5	35
Tetracloroetileno (percloro, etileno, piel)	200	1250
Tetracloruro de carbono (piel)	10A.2	65A.2
Tetrahidrofurano	200	590
1,2,4-triclorobenceno	9.37	75
1,1,2-tricloroetano (piel)	10	45
Tricloroetileno	100	535
2,4,6-trinitrofenol	—	0.1
Vidrio (fibra o polvo)	—	10
Vinitolueno	100	480
Xileno (o-m-p isóm.) (piel)	100	475
m-xileno- α - α -diamina	—	0.1