

---

**|CONTROL BANDING PARA DESECHOS: UNA MATRIZ PARA LA  
COMPARACIÓN RÁPIDA Y SIMPLE DEL IMPACTO SOBRE EL  
AMBIENTE DE LOS DESECHOS QUE CONTIENEN SUSTANCIAS  
QUÍMICAS**

**CONTROL BANDING FOR WASTES: A SPREADSHEET FOR A SIMPLE  
AND FAST COMPARISON OF IMPACT ON THE ENVIROMENT OF  
WASTES WITH CHEMICAL SUBSTANCES**

**José Ángel Rodríguez Corrales**  
joserod@vt.edu

**Alex Horacio González Murillo**  
alexgomu-13@hotmail.com

**Carmen Mora Aparicio**  
carmorapa@gmail.com

**Christopher Solís Ocampo**  
christophersolis.ocampo@sdstate.edu  
Escuela de Química  
Universidad Nacional  
Heredia, Costa Rica

Recibido el 21 de setiembre de 2011. Corregido el 10 de agosto de 2012. Aceptado el 15 de octubre de 2012.

**RESUMEN.** La disminución del efecto contaminante de los desechos sobre los ciudadanos y el ambiente representa un objetivo importante a alcanzar para garantizar una mejor calidad de vida y un desarrollo sostenible. Para atender este problema, se obtuvo un sistema de clasificación de los desechos químicos y un puntaje basado en la cantidad y peligro, utilizando una técnica de control por bandas (“*control banding*”). A través del desarrollo de una matriz basada en este concepto, se especificaron las entradas para las propiedades químicas y tóxicas de una sustancia con el registro de su MSDS. De este trabajo, se obtuvo una clasificación basada en la cantidad,

concentración, toxicidad conocida y efectos (i.e. LD<sub>50</sub> y las Frases de Riesgo, conocidas como frases R) dentro de una escala fijada para cada punto. Esta herramienta puede ser aplicada a diversas situaciones donde los desechos químicos no pueden ser valorados una vez que son eliminados.

**Palabras claves:** *control banding*, desechos, impacto sobre el ambiente, peligro.

**ABSTRACT.** Diminishing the polluting effect of wastes upon citizens and the environment represents an important aim to fulfill to guarantee a better life quality and a sustainable development. To address this problem a classification system of any chemical output and a score based in the quantity and danger was obtained by a control banding technique. By developing a spreadsheet based in this concept, the entries were specified for the chemical and toxic properties of any substance with a MSDS registry. From this work, it was obtained a classification based in the quantity, concentration, known toxicity and effects (i.e. LD<sub>50</sub> and Risk Phases, known as R phrases) inside a fixed scale for each point. This tool can be applied to several situations where chemical wastes cannot be assessed once they are eliminated.

**Keywords:** control banding, wastes, impact on the environment, hazards.

## Introducción

En todo proceso productivo se invierten materias primas y se generan desechos, debidos, entre otros, a la dificultad para obtener una eficiencia total en su transformación. Se podría incluso afirmar que la acumulación de desechos es una consecuencia directa de la vida (Tchobanoglous *et al.*, 1994).

Según la Ley para la Gestión Integral de Residuos, se define residuo como aquel material sólido, semisólido, líquido o gaseoso, del cual el generador o poseedor debe o necesita deshacerse ya que cumplió su vida útil, y que podría o debería valorizarse o tratarse responsablemente tomando en cuenta vías de disposición final adecuadas (Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica, 2010).

Los residuos se clasifican básicamente de dos formas: peligrosos y ordinarios. Los primeros son aquellos que poseen características químicas, tóxicas o de otro tipo, tal que pueden causar daños a la salud y al ambiente. Mientras los residuos ordinarios son aquellos generados en viviendas o en otras fuentes pero con composiciones similares a los de las residencias (Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica, 2010).

Aunque la legislación separa los residuos ordinarios y los peligrosos, se puede afirmar que casi todos tienen el potencial de generar un importante impacto sobre el ambiente y las personas, si no son tratados para disminuir su peligrosidad, llegando a superar la capacidad de carga de los ecosistemas (Tchobanoglous *et al.*, 1994). Por esta razón se vuelve necesaria la evaluación de la peligrosidad de los desechos generados para disminuir su impacto en el ambiente.

La Ley para la Gestión Integral de Residuos indica que la jerarquía en el proceso de gestión debe iniciar evitando que los desechos se generen y reduciéndolos (Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica, 2010).

Dado que una empresa puede generar una variedad de desechos, la modificación de sus procesos con el fin de disminuir el impacto sobre el ambiente que generan sus residuos, debería basarse en valores objetivos y no sólo en la percepción de las autoridades o los operarios, que no siempre conocen la verdadera peligrosidad de las sustancias con las que trabajan.

El Instituto Nacional para la Salud Ocupacional y Seguridad de Estados Unidos, NIOSH por sus siglas en inglés, define el “*control banding*”, o control por bandas, como una técnica utilizada para la evaluación y gestión de los riesgos laborales. Esta técnica consiste en la adopción de medidas de control con base en la peligrosidad que comparte un grupo o banda de sustancias. (NIOSH, 2010). La aplicación de un sistema de “*control banding*” para la estimación del peligro que representan las sustancias presentes en un desecho, relacionándolo con su impacto sobre el ambiente, favorecería un análisis rápido y simple de dichos residuos.

## **Materiales y métodos**

Las hojas y fichas de seguridad de los reactivos químicos poseen información concerniente a su peligrosidad, incluyendo entre otros, su inflamabilidad, dosis letal y frases R y S. Existen hojas y fichas de seguridad redactadas por especialistas en seguridad ocupacional y disponibles en los sitios web de organizaciones tales como el Instituto de Seguridad e Higiene en el Trabajo, INSHT (INSHT, sfp); o de proveedores de reactivos, como Sciencelab (Sciencelab, sfp).

En el marco del curso Producción más Limpia de la carrera de Química Industrial y del Programa de Gestión de Reactivos y Desechos químicos de los laboratorios de

docencia, de la Escuela de Química; y con base en la información recopilada en las fichas y hojas de seguridad y su análisis, se creó una matriz que permite evaluar los desechos químicos generados en las prácticas realizadas en los laboratorios de docencia.

Dicha matriz permite evaluar la peligrosidad de las sustancias químicas aplicando un sistema de *control banding* e incluye datos experimentales, como el volumen de desecho y concentración de las sustancias presentes, por lo que esta permite estimar de forma cuantitativa su impacto sobre el ambiente.

Si bien los ámbitos de volumen y concentración propuestos responden a las características de los desechos de una práctica de laboratorio, esta matriz puede ajustarse a las condiciones de los desechos que se desean evaluar dentro de una empresa.

### **Análisis de los resultados**

#### **Matriz para la evaluación del impacto sobre el ambiente de los desechos químicos**

En la matriz propuesta se evalúan, en resumen, tres aspectos: volumen del desecho generado, concentración de la sustancia a evaluar en el desecho generado y la peligrosidad de la sustancia, en función de su toxicidad (evaluada a través de su LD<sub>50</sub>), efecto en organismos acuáticos, inflamabilidad y otros.

#### **Evaluación del volumen de desecho**

Para evaluar los volúmenes de desecho que se generaba en cada práctica, y con base en los volúmenes que se generan normalmente, se propusieron los valores que se detallan en el cuadro a continuación.

Cuadro 1. Valores asignados en la matriz de impacto en función del volumen de desecho generado.

<b>Volumen (mL)</b>	<b>Valor asignado</b>
<b>≥200</b>	10
<b>150-199</b>	9
<b>120-149</b>	8
<b>100-119</b>	7
<b>70-99</b>	6

---

<b>40-69</b>	5
<b>25-39</b>	4
<b>15-24</b>	3
<b>5-14</b>	2
<b>&lt;5</b>	1

---

Los valores del cuadro fueron fijados con base en los volúmenes de desechos que se generaban en las prácticas aplicadas en los laboratorios de docencia en el momento de la evaluación, así como las metas del Proyecto de Gestión de Reactivos y Desechos Químicos en los laboratorios de docencia de la Escuela de Química, esto con el fin de minimizar los desechos generados. Cabe resaltar que si la matriz se desea aplicar para otras condiciones, por ejemplo, en industrias, o laboratorios de análisis; deberán definirse nuevos valores con base en la realidad de las distintas actividades que se lleven a cabo.

Los valores del Cuadro 1 están planteados en función del volumen dado que la mayoría de desechos se encuentran en disolución, sin embargo, para aquellos desechos en estado sólido se utilizan los mismos valores salvo que en vez de mililitros se utilizan gramos. Así, si se generan 20 mL de una disolución de  $\text{CuSO}_4$  0,1 M, se le asignará un valor de 3, mientras si se generan 20 g de  $\text{CuSO}_{4(s)}$ , de igual manera se asignará un valor de 3.

Sin embargo, ambos desechos deberían generar distintos impactos sobre el ambiente debido a su estado físico y las consecuentes diferencias en su manejo, lo que se ve reflejado al evaluar la concentración, según se explicará más adelante.

### **Evaluación de la concentración de desecho**

Con respecto a las concentraciones de las sustancias en los desechos, se propusieron los valores que se detallan en el cuadro a continuación.

Cuadro 2. Valores asignados en la matriz de impacto en función de la concentración de un soluto en el desecho generado.

---

<b>Concentración (M)</b>	<b>Valor asignado</b>
<b><math>\geq 10</math></b>	10
<b>5,00-9,99</b>	9
<b>1,00-4,99</b>	8
<b>0,50-0,99</b>	7

---

---

<b>0,10-0,49</b>	6
<b>0,05-0,09</b>	5
<b>0,010-0,049</b>	4
<b>0,0010-0,0099</b>	3
<b>0,00010-0,00099</b>	2
<b>≤0,00001</b>	1

---

Se propuso la utilización de la molaridad como medida de concentración dado que esta es una de las unidades que refleja de mejor manera la cantidad de sustancia presente. Si se utilizara % m/m o % m/v, esto no reflejaría la cantidad de moléculas o moles presentes en la sustancia sino sólo los gramos, impidiendo una comparación de dos sustancias con masas molares distintas. La definición de los rangos de concentración a los que se le asigna cada valor se basó, nuevamente, en las características de los desechos generados así como las metas del proyecto.

Si bien este sistema de comparación trabaja bastante bien para muchas disoluciones, deben tomarse en cuenta dos situaciones de carácter especial al aplicar la matriz:

a) En algunas prácticas de laboratorio, y procesos productivos a nivel industrial, los desechos generados corresponden a sustancias en estado sólido. Dado que un sólido por sí mismo no posee concentración, pero tiene la posibilidad de generar un impacto aún mayor que una disolución por esta misma razón, se propone que a este tipo de desecho se le asigne un valor de 10.

b) Si bien la mayoría de desechos se encuentran en disolución acuosa, algunos de ellos se podrían encontrar en disolventes orgánicos, por lo que el impacto que tendría el desecho se debe tanto al soluto como el solvente. Por esta razón, se propone asignar a este tipo de desecho el valor máximo posible en la escala, es decir, 10.

Retomando el ejemplo del sulfato de cobre (II) propuesto anteriormente, a la disolución se le debe asignar un valor de 6 mientras al sólido le corresponde un 10.

### **Evaluación de la peligrosidad del soluto**

Si bien la peligrosidad es una característica intrínseca de las sustancias, esta se encuentra relacionada con distintos impactos, un claro ejemplo de esto son los distintos sistemas de clasificación para las sustancias químicas, entre ellos los de la ONU, EPA, OSHA y el reciente Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de

Productos Químicos (Organización Internacional del Trabajo, 2007) . Por esta razón, la peligrosidad se midió a través de 5 indicadores del impacto.

### **Peligrosidad medida a través de la dosis letal 50**

La dosis letal 50 (LD<sub>50</sub>) se define como la dosis necesaria para producir la muerte a un 50% de los individuos sometidos una prueba. Sus unidades corresponden a mg sustancia/Kg de individuo (Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica, 1998). Algunos de estos valores forman parte de hojas de seguridad o han sido determinados en diferentes estudios, sin embargo, estos pueden variar dependiendo de la fuente.

Young (1982) realiza una evaluación del peligro que representa una sustancia con base en el efecto que puede causar su manejo incorrecto, clasificándolo los niveles de peligro como “Muy alto”, “Alto”, “Moderado” o “Bajo”, y afirma que si más de un nivel aplica para una sustancia, se debe elegir el más alto.

De igual forma, si se encontraban distintos valores de LD<sub>50</sub> en la literatura, siempre se escogía el menor valor (entre menos cantidad de una sustancia se necesita para producir la muerte al 50% de la población, mayor es la peligrosidad de la sustancia), partiendo de que es mejor suponer un peligro mayor, es decir, sobrevalorar algunas sustancias a asumir un peligro menor que no responde a la realidad. Los valores asignados para los LD<sub>50</sub> se detallan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Valores asignados en la matriz de impacto para la evaluación de la peligrosidad de una sustancia en función de su LD<sub>50</sub>.

<b>LD50 reportado (mg/Kg)</b>	<b>Valor asignado</b>
<b>&lt;20</b>	5
<b>20-49</b>	4
<b>50-499</b>	3
<b>500-5000</b>	2
<b>&gt;5000</b>	1

### **Peligrosidad medida a través del impacto en organismos acuáticos**

Si bien el impacto en los organismos acuáticos debe ser un importante punto a evaluar, este puede resultar difícil de medir dado que, a pesar de la existencia de parámetros como el LD<sub>50</sub> para especies acuáticas, estos no se encuentran fácilmente disponibles ni han

sido evaluados para todas las sustancias en los mismos organismos. Por lo tanto, se recurrió a una forma más simple, pero que de igual manera válida, para asignar valores a la peligrosidad de las sustancias.

Las hojas y fichas de seguridad, dentro de sus partes fundamentales, deben incluir una serie de frases conocidas como frases “Riesgo y Seguridad”, abreviadas usualmente como R y S. Mediante una revisión del significado de las frases R y S, se observó que algunas de ellas poseían relación con el impacto de la sustancia en el medio acuático y otros impactos que luego se mencionarán (INHST, sfp).

Las frases relacionadas con el medio acuático son las siguientes:

- **R50:** Muy tóxico para los organismos acuáticos.
- **R51:** Tóxico para los organismos acuáticos.
- **R52:** Nocivo para los organismos acuáticos.
- **R53:** Puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático.

Con base en las frases R presentadas por las sustancias a evaluar se asignan los valores descritos en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Valores asignados en la matriz de impacto para la evaluación de la peligrosidad de una sustancia en función de su toxicidad para los organismos acuáticos.

<b>Frase R presente</b>	<b>Valor asignado</b>
<b>R50</b>	5
<b>R51</b>	4
<b>R52</b>	3
<b>R53</b>	2
<b>Ninguna de las anteriores</b>	1

Si bien no se dispone de referencias en donde se aplique esta escala, se propone su uso dado que se basa en las evaluaciones que han realizados otros investigadores al definir las frases R de las sustancias. Asimismo, resulta lógico esperar que el mayor impacto sea generado por las sustancias muy tóxicas para los organismos acuáticos (R50), seguido por las sustancias tóxicas (R52) y luego las nocivas (R52).



## Peligrosidad medida a través de los efectos sistémicos

Nuevamente, algunas frases R indican algunos posibles efectos sistémicos, que en mayor o menor medida pueden afectar a las personas e incluso a los animales. Las frases R que se evalúan en este apartado corresponden a:

- **R33** Peligro de efectos acumulativos.
- **R40** Posibles efectos cancerígenos
- **R45** Puede causar cáncer
- **R46** Puede causar alteraciones genéticas hereditarias.
- **R48** Riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada.
- **R49** Puede causar cáncer por inhalación.

Los valores asignados para cada una de las frases R se detallan en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Valores asignados en la matriz de impacto para la evaluación de la peligrosidad de una sustancia en función de sus efectos sistémicos.

<b>Frase R presente</b>	<b>Valor asignado</b>
<b>R40, R45, R49</b>	5
<b>R46</b>	4
<b>R33</b>	3
<b>R48</b>	2
<b>Ninguna de las anteriores</b>	1

Los valores asignados para cada una de las frases R se proponen bajo la premisa de que aquellas sustancias que puedan causar cáncer, por inhalación o cualquier otro medio, son de máxima peligrosidad, mientras los efectos graves en una exposición prolongada implican un peligro pero a más largo plazo y sólo bajo exposición constante, considerándose de menor prioridad.

## Peligrosidad medida a través de los efectos en organismos terrestres

Si bien no existen muchas frases R orientadas en este sentido, hay algunas que sí se relacionan, en especial:

- **R54** Tóxico para la flora.
- **R55** Tóxico para la fauna.
- **R56** Tóxico para los organismos del suelo.

- **R57** Tóxico para las abejas.
- **R58** Puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente.

Los valores asignados se muestran en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Valores asignados en la matriz de impacto para la evaluación de la peligrosidad de una sustancia en función de sus efectos en el ambiente.

<b>Frase R presente</b>	<b>Valor asignado</b>
<b>R56, R57</b>	5
<b>R54, R55</b>	4
<b>R58</b>	3
<b>Ninguna</b>	1

Las frases R y los valores asignados a cada una de ellas, se proponen con base en la sensibilidad e importancia de los organismos. De esta manera, las sustancias tóxicas para los microorganismos del suelo, que son muy sensibles y responsables de una buena parte de la capacidad de autodepuración; y para las abejas, que poseen un papel importantísimo en la polinización, son de máxima peligrosidad y generarán el mayor impacto.

### **Peligrosidad medida a través de su inflamabilidad**

Una característica inherente a las sustancias químicas es la inflamabilidad, es decir, especies con un punto de inflamación menor a 60°C, en tanto que entre más inflamable sea, mayor impacto podría generar en el ambiente. Si bien existen distintas formas de medir la inflamabilidad, se decidió utilizar como referencia el valor asignado por la clasificación de la Agencia Nacional de Protección contra Incendios de los Estados Unidos, NFPA por sus siglas en inglés.

Entre las ventajas de la utilización de este valor se encuentra que el mismo es de carácter numérico y se encuentra entre 0 y 4, por lo que facilita el uso de un sistema de cuantificación como lo es la matriz; y además este dato también forma parte de las hojas y fichas de seguridad de las sustancias químicas. Los valores asignados en función de la inflamabilidad se detallan en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Valores asignados en la matriz de impacto para la evaluación de la peligrosidad de una sustancia en función de su inflamabilidad.

Valor NFPA	Valor asignado
4	5
3	4
2	3
1	2
0	1

### Procedimiento para la aplicación de matriz

Una vez generada la cuantificación teórica se procedió según el siguiente orden:

1. Se determinaron las peligrosidades de los solutos presentes en los desechos mediante la multiplicación de los valores de peligrosidad obtenidos para los cinco factores descritos anteriormente. Esto puede representarse mediante la ecuación:

$$P_A = \prod_{i=1}^5 p_n = p_1 * p_2 * p_3 * p_4 * p_5 \quad \text{Ecuación 1}$$

Siendo  $P_A$  la peligrosidad del soluto A,  $p_1$  la peligrosidad calculada con base en la toxicidad ( $LD_{50}$ ),  $p_2$  la peligrosidad para organismos acuáticos,  $p_3$  la relacionada con efectos sistémicos,  $p_4$  la correspondiente a organismos terrestres y  $p_5$  la concerniente a inflamabilidad.

Al efectuar en primera instancia el cálculo de la peligrosidad de los solutos, se facilita la labor posterior ya que la peligrosidad de una sustancia, tal y como se evalúa en la matriz, es independiente de su estado físico y otros, dado que estos aspectos se evalúan en otras categorías de la matriz. De esta forma, el valor de peligrosidad obtenido se aplica para todos los desechos que contengan la sustancia analizada.

2. Se evaluación del impacto de los desechos de cada práctica mediante la multiplicación de los valores correspondientes a los volúmenes, concentración y los de peligrosidad calculados en el punto 1, es decir,

$$I_A = P_A * V_A * C_A \quad \text{Ecuación 2}$$

Siendo  $I_A$  el impacto del desecho que contiene la sustancia A,  $P_A$  el valor calculado para la peligrosidad,  $V_A$  el valor de la matriz correspondiente al volumen de desecho, según se definió en el Cuadro 1 y  $C_A$  el valor concerniente a la concentración, detallado en el Cuadro 2.

3. Se evaluó del impacto de cada práctica mediante la suma de los impactos de todos los productos, según la ecuación:

$$I_t = \sum I_i = I_A + I_B + I_C + I_D + \dots \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde  $I_t$  representa el impacto total de la práctica, y los subíndices A, B, C y demás letras corresponden a los distintos desechos generados.

Además se determinó la suma de los impactos debido a volumen, debido a concentración y debido a peligrosidad en forma individual para determinar cuál de estos factores posee la mayor incidencia sobre el valor total de la práctica.

Dado que la matriz genera finalmente valores numéricos, estos sirven como un índice que permite la priorización de las acciones a tomar, dado que aquellas prácticas con índices mayores son las que generan un mayor impacto, por lo que podría pensarse en una sustitución de las prácticas de laboratorio, mientras los desechos que por sí solos generan valores más altos que los demás podrían prestarse para una modificación parcial de la práctica.

Además, dado que la matriz evalúa tanto volumen como concentración y peligrosidad, permite determinar si un desecho que se produce en poca cantidad pero que es muy peligroso tendrá un mayor o menor impacto que uno más inocuo que se genera en mayor cantidad. Asimismo, la suma de los impactos debido a concentración, peligrosidad y volumen individualmente, permiten determinar a cuál de los tres aspectos se debe principalmente el impacto de la práctica.

### **Aplicación de la matriz a las prácticas de laboratorio**

Se aplicó la matriz de evaluación con base en la cuantificación teórica de la cantidad y concentración de desechos generados en las prácticas de laboratorio de Química General I y II y Fundamentos de Química, que se realizaron durante el I Ciclo del 2010, según se describieron en el Manual de Laboratorio para estos cursos (Navas Hernández, M.S., Calvo Nigro, R., Fonseca Blanco, M., Quesada Blanco, J.M. y Madrigal Gutiérrez, A.R., 1998).

Como ejemplo, se detallará el procedimiento de aplicación de la matriz para la evaluación de la práctica “Combustión y técnicas de separación”. En esta experiencia de laboratorio el estudiante separa una mezcla de carbón activado, NaCl y agua, mezcla una disolución  $Pb(NO_3)_2$  con otra de HCl para formar  $PbCl_2$  que se redissuelve al aumentar la temperatura y se confirma la presencia de  $Pb^{+2}$  adicionando  $CrO_4^{-2}$  para formar el precipitado amarillo  $PbCrO_4$ .

1. Determinación de la peligrosidad de las sustancias: tomando como ejemplo el  $K_2CrO_4$  que queda en exceso al hacer la prueba cualitativa para la presencia de  $Pb^{+2}$ , se detallará el procedimiento de evaluación de la peligrosidad.

Primero, se obtuvo la hoja de seguridad del producto de donde se extrajo la siguiente información:

- LD<sub>50</sub> oral ratón: 180 mg/Kg.
- Frasas R: 26, 34, 45, 48, 50 y 53.
- Inflamabilidad según rombo NFPA: 0.

La evaluación de la peligrosidad de la sustancia se detalla en el cuadro a continuación.

Cuadro 8. Evaluación de la peligrosidad del  $K_2CrO_4$ .

<b>LD<sub>50</sub></b>		<b>Impacto en Efectos</b>			<b>Efectos en Inflamabilidad</b>				
		<b>organismos acuáticos</b>		<b>sistémicos</b>		<b>organismos terrestres</b>			
mg/Kg	Valor asignado	Frase R	Valor asignado	Frase R	Valor asignado	Frase R	Valor asignado	Valor NFPA	Valor asignado
180	3	R50, R43	5	R45	5	-	1	0	1

Nota: los valores asignados para cada parámetro fueron descritos en los Cuadros 4, 5, 6 y 7.

Cabe resaltar que en la evaluación del impacto sobre organismos terrestres la sustancia posee dos frases R que son tomadas en cuenta de la matriz: R50 (muy tóxico para los organismos acuáticos) y R53 (puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático) a las que se le asignó un valor de 5 y 2 respectivamente, según se detalla en el Cuadro 4. Sin embargo, se elige el valor de 5 bajo el concepto detallado anteriormente en tanto que es mejor sobrevalorar un peligro que infravalorarlo.

Aplicando la ecuación 1, se obtiene:

$$P_{K_2CrO_4} = \prod_{i=1}^5 p_n = p_1 * p_2 * p_3 * p_4 * p_5 = 3 * 5 * 5 * 1 * 1 = 75$$

2.

Cuadro 9. Aplicación de la matriz de evaluación de impacto sobre el ambiente a la práctica “Combustión y técnicas de separación”.

Sustancia	Masa/volumen	$V_i$	Concentración	$C_i$	$P_i$	$I_i$
$K_2CrO_4$	5,75 mL	2	0,03 M	4	75	600
HCl	3 mL	1	1,9 M	8	5	40
$PbCrO_4$	0,05 g	1	-	10	5	50
NaCl	0,05 g	1	-	10	2	20
Carbón activado	0,05 g	1	-	10	1	10
<b>Total</b>	8,75 mL y					
<b>práctica</b>	0,15 g	6	-	42	88	720

Siendo  $V_i$  el valor de la matriz correspondiente al volumen de desecho, según se definió en el Cuadro 1,  $C_i$  el valor concerniente a la concentración, detallado en el Cuadro 2,  $P_i$  el valor calculado para la peligrosidad e  $I_i$  el impacto del desecho que contiene la sustancia.

## Discusión

### Importancia de la matriz

La matriz permite realizar una comparación de residuos generados en cada práctica de laboratorio, en cuanto a la magnitud de su impacto sobre el ambiente, permitiendo así priorizar acciones a la hora de tratar, disponer o almacenar los mismos.

Además la matriz no se aplica solamente a las prácticas realizadas normalmente en los laboratorios de docencia, sino que se puede utilizar como un indicador en la implementación de nuevas prácticas o en la modificación de las actuales señalando así los futuros problemas en cuanto a residuos y peligrosidad o demostrando la mejora de las prácticas de una forma objetiva y cuantitativa.

Al considerar una amplia gama de posibles riesgos y peligros producidos sobre el medio, esta herramienta facilita una mejor estimación del impacto sobre el ambiente.

La matriz está basada en datos cuantitativos establecidos contra estándares como son las MSDSs, por lo que permite una comparación objetiva entre desechos, generando una mejor aproximación a los verdaderos efectos sobre el ambiente.

A pesar de que es recomendable la aplicación de la matriz por aquellos que tienen conocimiento en el área ambiental, la misma puede ser utilizada por personas sin experiencia debido a su facilidad de manejo.

Por otro lado la aplicación de la matriz requiere la necesidad de analizar las hojas de seguridad de las sustancias utilizadas y no solamente las frases R y S, ya que la lectura incompleta de la hoja de seguridad podría generar errores en la evaluación de la peligrosidad de la sustancia.

### **Posibles modificaciones de la matriz**

El uso de un sistema de *control banding* de forma similar al utilizado en esta matriz permitiría generar una herramienta para cuantificar también los riesgos a la salud, tanto en desechos como en manejo de las sustancias.

Por su parte, el uso de factores de ponderación establecidos por un profesional de la salud o de gestión ambiental permitiría dar un mayor valor a aquellos factores que este considere prioritarios. De esta manera, aquellos laboratorios en donde se han propuesto medidas para la eliminación de sustancias cancerígenas, por ejemplo, obtendrán valores máximos en la matriz usando un factor de ponderación mayor en dicha sección.

### **Referencias**

Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica. (1998). Reglamento para el Manejo de los Desechos Peligrosos Industriales. La Gaceta.

Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica. (2010). *Ley para la Gestión Integral de Residuos*. La Gaceta.

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (sfp) *Fichas FISQ*. <http://www.insht.es/portal/site/Insht/menuitem.a82abc159115c8090128ca10060961ca/?vgnnextoid=4458908b51593110VgnVCM100000dc0ca8c0RCRD> (4 de marzo de 2010).

---

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (sfp) *NTP 459: Peligrosidad de productos químicos: etiquetado y fichas de datos de seguridad*. [http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/401a500/ntp\\_459.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/401a500/ntp_459.pdf) (4 de marzo de 2010).

National Institute for Occupational Safety at work. (2010). *Control banding*. <http://www.cdc.gov/niosh/topics/ctrlbanding/> (1 de setiembre de 2011).

Organización Internacional del Trabajo. (2007) *Información básica para el establecimiento de un marco regulador de la OIT para las sustancias peligrosas*. Ginebra: OIT, 2, 6, 7.

Sciencelab. (sfp) *Material Safety Data Sheet Listing*. <http://www.sciencelab.com/msdsList.php> (4 de marzo de 2010).

Tchobanoglous, G.; Theissen, H.; Eliassen, R. (1994). *Desechos sólidos. Principios de Ingeniería y Administración*. España: McGraw-Hill. 5,6,13.

Young, J. (1982). Risk Assessment and Hazard Elimination for Undergraduate Laboratory Experiments. *Journal of Chemical Education*.59 (9), A265.