

Relación Beneficio - Costo de un Plan de Manejo de Sustancias Descartadas

Desde una perspectiva ambiental

Caso. Laboratorio de Físicoquímica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo

**María Cristina Colmenares, Angelina Correia, Cristina De Sousa y Bellatriz Díaz
Profesores UC**

Resumen

La evaluación económica de la implantación de un plan de manejo de las sustancias descartadas en el Laboratorio de Físico química se realizó mediante la relación beneficio - costo de dos Planes de Manejo (Recuperación y Almacenamiento), utilizando el método de valoración contingente para la determinación de los beneficios ambientales. Los resultados obtenidos indican que los planes propuestos son rentables y a la vez se cumple con las regulaciones ambientales que establecen las leyes venezolanas.

Palabras Clave:

Laboratorio, Sustancias Descartadas, Relación Beneficio-Costo, Valoración Contingente.

Abstract

The economic evaluation to implement a management plan of the waste substances in the Laboratory of Physicochemical was determined by using the relation between benefit and cost of two different manage plans (Recovery and Storage), and the contingent valuation method in order to find of the environmental benefits. The results show that the proposed plans are profitable and simultaneously, they satisfy the environmental regulations established by the Venezuelan laws.

Key-Words:

Laboratory, Waste Substances, Benefit and Cost, Contingent Valuation.

Introducción

Actualmente las organizaciones públicas o privadas están inclinando su atención hacia la forma de mantener y mejorar la calidad del ambiente y protección de la salud humana; sin embargo, muchas veces no se cuenta con las políticas y/o estrategias adecuadas para el manejo de actividades, productos o servicios.

A nivel de laboratorios, el manejo seguro de desechos es un concepto global que se refiere al proceso que comienza con la compra de los materiales necesarios para un ensayo específico y culmina con el destino final que se da a los residuos generados. El principio general que se mantiene es que los desechos deben ser dispuestos de forma tal que no afecten a las personas ni al ambiente.

Unido a las consideraciones ambientales, la implementación de planes de manejo para las sustancias descartadas en un laboratorio requiere, además, de una valoración económica, que permita conocer los gastos a incurrir y los beneficios, tanto económicos como ambientales, del establecimiento de tales planes. Para realizar tal valoración es útil aplicar la evaluación de la relación beneficio-costo, tal como se desarrolla en la presente investigación para el caso específico del Laboratorio de Fisicoquímica (LFQ) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo (UC).

Situación Actual

La Escuela de Química de la Facultad de Ingeniería de la UC cuenta con cuatro laboratorios donde se utilizan reactivos químicos con características de peligrosidad. Dichos reactivos, así como las sustancias generadas en los distintos ensayos, requieren de la aplicación de normas y procedimientos específicos para su manejo y descarte de acuerdo a lo establecido en la normativa legal vigente en el país.

La reciente Ley sobre Sustancias, Materiales y Desechos Peligrosos (Ley No 55, 2001) establece que toda persona natural o jurídica, pública o privada responsable de la generación, uso y manejo de sustancias, materiales y desechos peligrosos, debe cumplir con la reglamentación técnica establecida en la materia. Obviamente, las universidades públicas y privadas del país, entran dentro de esta clasificación, pero en su mayoría, no cumplen las normativas que regulan la protección del ambiente.

En el caso específico del Laboratorio de Fisicoquímica (LFQ) de la Facultad de Ingeniería de la UC, para evaluar los procedimientos de descarte de las sustancias, se realizó una revisión de las condiciones actuales del laboratorio, las cuales permitieron conocer el tipo y la naturaleza química de los reactivos utilizados en las prácticas, así como el estado físico de las instalaciones. Se pudo constatar que no existen procedimientos de manejo que permitan la recuperación mediante el reuso o reciclaje de los materiales peligrosos recuperables; o procedimientos para el almacenamiento y la disposición final o temporal de los desechos peligrosos.

Por otra parte, los procedimientos actuales de descarte de las sustancias peligrosas del LFQ no se ajustan a las regulaciones ambientales vigentes. De manera general se encuentra que las sustancias peligrosas sólidas son mezcladas con los desechos sólidos de naturaleza no peligrosa y dispuestas en vertederos municipales, en contradicción con las disposiciones ambientales que rigen la materia (Ley N° 55, 2001 y Decreto No 2635, 1998). Por otra parte, los vertidos líquidos que se descargan a redes cloacales contienen sustancias clasificadas como tóxicas y que afectan la biota o que afectan cualquier uso potencial de las aguas, según el Art. 12 del Decreto N° 3219 (G.O. N° 5.305E, 1999).

Evidentemente la magnitud del impacto ambiental negativo causado por el LFQ desde su fundación, hace 30 años, no ha sido el mismo. En sus comienzos el LFQ manejaba un número reducido de estudiantes, y en la actualidad cuenta con un volumen aproximado de 98 alumnos a la semana. Desde el punto de vista positivo, en los últimos años los profesores del área de

fisicoquímica han implementado programas de minimización en la generación de desechos peligrosos a través de los siguientes planes:

- Sustitución de reactivos peligrosos por otros materiales menos tóxicos en aquellas prácticas que así lo permitan, sin menoscabo del objetivo académico del ensayo.
- Disminución de los volúmenes y concentraciones de los reactivos usados en las prácticas.
- Aumento del uso de instrumentos que minimiza la cantidad de reactivos.

En otras universidades del mundo, tales como: la Universidad de Concepción (1998), la Universidad de Chile (2003), la Universidad de Sevilla (2001) y la Universidad de Maryland (2000), ya han implementado programas de manejo de desechos provenientes de laboratorios. Por su parte, en la Universidad de Carabobo, existen ciertos avances específicos en áreas como el Laboratorio de ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería, donde se implementó un Sistema de Gestión Ambiental (Mujica, 2002), y en la Facultad de Ciencia y Tecnología, donde se están comenzando a realizar estudios similares en la materia (Comunicación personal con Prof. Katuska Ramos).

No obstante, no se conoce de estudios de valoración económica de la puesta en marcha de estos programas, donde se indiquen los costos de la implementación del plan de manejo y los beneficios de mejorar, proteger o preservar el ambiente. Surgen entonces, la siguiente interrogante:

¿Cuáles son las sustancias que se descartan en el Laboratorio de Fisicoquímica?

¿Qué características deben tener el plan de recuperación y de almacenamiento?

¿Los planes propuestos contarán con el apoyo de los estudiantes ¿En qué medida será este apoyo?

¿Cuáles serán los beneficios-costos que se obtendrán por la implantación de un plan de manejo de las sustancias descartadas en el Laboratorio de Fisicoquímica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo?

Cabe mencionar que los fines de este trabajo se entiende por Sustancias Descartadas, aquellas sustancias (sólidas o líquidas) de cualquier naturaleza (peligrosas o no), que se desechan en las distintas actividades que se desarrollan en un laboratorio.

Objetivos

El objetivo general de este proyecto es evaluar la relación beneficio-costos para la implementación de planes de manejo de las sustancias descartadas en el Laboratorio de Fisicoquímica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo. Para ello, fue necesario, en principio, identificar los diferentes tipos de sustancias descartadas en el laboratorio, clasificarlas de acuerdo a sus características de peligrosidad y posibilidad de recuperación, proponer un plan de recuperación para los materiales peligrosos y para el almacenamiento adecuado de los desechos peligrosos generados.

Consideraciones Teóricas

Riesgos para el Ambiente

Como resultado de la deficiencia para establecer y seguir procedimientos para la clasificación en las distintas etapas de generación, recolección, transporte y disposición final; los desechos que salen del laboratorio de Fisicoquímica son en su conjunto potencialmente peligrosos, debido a la presencia de compuestos químicos que representan un riesgo para la salud y el ambiente.

El mayor riesgo lo sufren los trabajadores que manejan la basura (empleados de universidad y los trabajadores municipales). El riesgo para el ambiente ocurre por la posible contaminación del suelo, agua y aire debido a la inadecuada disposición de sustancias químicas en basureros municipales que no están diseñados para tal fin o el vertido de las mismas hacia las redes cloacales (Canter, 1997).

Política Ambiental

De acuerdo con información suministrada por el Departamento de Seguridad Industrial, Higiene Ocupacional y Protección Ambiental de la Dirección de Prevención de Incendios, Protección y Seguridad de la Universidad de Carabobo (PIPSUC), existe una política de seguridad en la institución, en la cual se encuentra inmersa la protección del ambiente en general, de acuerdo a la fundamentación legal, Visión y Misión de esta dirección, aprobadas por el Consejo Universitario. Desde esta perspectiva, la institución cuenta con normas y procedimientos tendentes a proteger el ambiente, pero en la práctica muchos de estos lineamientos no se llevan a cabo eficientemente.

Con la implementación de un plan de manejo de sustancias descartadas se persigue fomentar en la comunidad universitaria (docentes, investigadores, estudiantes y empleados) conciencia hacia la necesidad de ajustarse a políticas de gestión ambiental bajo los principios del desarrollo sostenible fundamentado en tres premisas: la disminución del impacto ambiental negativo que causan los desechos; la reducción en su generación, y finalmente, el mejoramiento de la calidad de vida de la comunidad en general, así como de las condiciones laborales de quienes intervienen en las actividades relacionadas con la gestión de los desechos (LaGrega, Buckingham y Evans, 1996).

Las organizaciones que establecen una política ambiental declaran sus intenciones y principios en relación a su desempeño ambiental global a través del establecimiento de objetivos y metas ambientales basados en un conjunto de leyes tendentes a la conservación y defensa del ambiente (COVENIN ISO 14001, 1996). Las principales disposiciones legales que deben estar involucradas en la formulación de una política ambiental en el LFQ son las siguientes:

- Constitución Nacional de la República Bolivariana de Venezuela, 1999 (Art. 127,128,129).
- Ley Orgánica del Ambiente (1976). Ley Penal del Ambiente (1992).
- Ley sobre Sustancias, Materiales y Desechos Peligrosos (Ley No 55, 2001).
- Normas para el Control de la Recuperación de Materiales Peligrosos y el Manejo de Desechos Peligrosos (Decreto No 2635, 1998).
- Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de las Aguas de la Cuenca del Lago de Valencia (Decreto No 3.219, 1999)

- Normas para el Manejo de Desechos Sólidos de Origen Doméstico, Comercial e Industrial o de cualquier otra Naturaleza que no sean Peligrosos (Decreto No 2216, 1992).

Dichas disposiciones se pueden clasificar dentro del marco de políticas ambientales centralizadas, debido a que son de injerencia directa del Estado (Nebel y Wright, 1999), otras son competencia de ciertas entidades estatales en particular, tal como es el caso del Lago de Valencia, o su gestión está a cargo de las municipalidades, como por ejemplo los aspectos referidos a los desechos domésticos.

Valoración Económica

Para analizar las implicaciones económicas de un proyecto, es necesario valorar los costos que representan, en este caso el monto total de lo invertido en la implementación del plan de manejo, y los beneficios de preservar el ambiente, cuyo valor es difícil de calcular e incluso inestimable. No obstante, existen técnicas como la Valoración Contingente que permiten investigar la valoración que otorgan las personas a los cambios en el bienestar que les produce la modificación en las condiciones de oferta de un bien ambiental (Azqueta, 1994).

Método

El trabajo se desarrolló en tres etapas:

1. Clasificación de las sustancias que se descartan en las prácticas del Laboratorio en función a sus características de peligrosidad y posibilidad de recuperación. En tal sentido, se estableció la siguiente clasificación, tal como lo establece la normativa legal vigente:

M.N.PR: Material no peligroso que puede ser recuperado (Decreto N° 2216, 1992).

D.N.P: Material no peligroso que no puede ser reutilizado (Decreto No 2216, 1992)

M.PR: Material peligroso que puede ser reutilizado (Ley N° 55, 2001)

D.P: Material peligroso que no puede ser reutilizado. (Decreto No 2635, 1998)

2. Establecimiento de un plan de reciclaje o reuso para los materiales peligrosos que puedan ser recuperados y un almacenamiento adecuado para los desechos peligrosos, según lo establecido en las regulaciones ambientales (Decreto No 2635, 1998).

3. Valoración económica. Se llevó a cabo mediante la determinación de la relación beneficio costo de los dos planes de manejo propuestos para las sustancias descartadas del laboratorio de fisicoquímica (LFQ). Dicha relación se calculó utilizando la siguiente ecuación:

$$\frac{\sum B}{\sum C} > 1 \quad (1)$$

donde:

B: beneficios o ingresos obtenidos, Bs.

C: costos, Bs.

Para calcular la relación anterior, la cual debe ser > 1 desde el punto de vista económico, se determinaron los costos y beneficios obtenidos en los dos de planes de manejo propuestos:

- Plan de Recuperación: Los costos totales se calcularon tomando en cuenta los costos parciales de equipos, servicios (energía y agua) y personal necesario para su ejecución. El beneficio económico obtenido en este proceso, debido al ahorro de reactivos químicos, se determinó en función a la cantidad de sustancias descartadas anualmente y a su porcentaje de recuperación, el cual se asumió en un 70 % según lo indicado en la bibliografía para la recuperación química utilizando equipos de laboratorio a escala piloto (Perry, 1998).

Además del beneficio económico, en el proceso de recuperación existe un beneficio adicional obtenido por la disminución de la contaminación debido a la reducción de la cantidad de sustancias que se descartan. Este beneficio no se puede calcular de manera exacta; no obstante se estimó utilizando el método de valoración contingente, cuya metodología se explica en el plan de almacenamiento.

- Plan de almacenamiento. Este plan se implementará para almacenar los desechos de naturaleza peligrosa y los reactivos vencidos o en desusos existentes en el laboratorio que presenten características peligrosas. A fin de disminuir los costos, se estableció que el almacén debería estar situado dentro de la misma facultad, específicamente al lado del laboratorio de Fisicoquímica donde existe un área desocupada. Dicha área se debe acondicionar como un almacén de desechos peligrosos según lo establecido en las regulaciones ambientales que rigen la materia (Decreto No 2635, Art. 40, 1998).

El costo del almacén para cumplir con estas disposiciones se estimó tomando en cuenta los gastos para su acondicionamiento (sistemas de seguridad, alarmas, etc.) y los costos del personal necesario. Al costo total del almacén hay que sumarle el costo de mantenimiento del mismo que se asume un 10 % del costo inicial de acondicionamiento multiplicado por la tasa de inflación anual (Perry, 1998).

En cuanto a la determinación de los beneficios, como se mencionó anteriormente, el beneficio de no continuar contaminando es un valor incalculable; no obstante, el Método de Valoración Contingente permiten estimar este valor. Se seleccionó este método ya que a diferencia de otros (método de coste de viaje, método de precios hedónicos, etc.), permite determinar el valor que las personas otorgan a una: situación hipotética, que todavía no se ha dado. El método de valoración contingente utiliza como instrumento de investigación una encuesta, y a través de una muestra representativa de la población en estudio, realiza la valoración del beneficio ambiental (Azqueta, 1994).

Descripción del muestreo

La población (N) considerada como relevante para la valoración contingente del beneficio ambiental fueron los estudiantes de la Escuela de Química de la Facultad de Ingeniería (1300 alumnos), y en base a ellos se seleccionó una muestra probabilística (n) de 300 alumnos, según la siguiente ecuación (Hernández, Fernández y Baptista, 1998):

$$n = \frac{N}{Se^2(N-1) + 1} \quad (2)$$

donde:

Se = error estándar (se asumió en un 5%).

La muestra posteriormente fue estratificada estadísticamente en tres grupos de alumnos: Grupo (1) no han cursado aún el LFQ (primeros semestre de la carrera de Ingeniería Química), Grupo (2) están cursando actualmente el LFQ (nivel medio de la carrera) y Grupo (3) ya cursaron el LFQ (últimos semestres de la carrera). La estratificación se realizó con la finalidad de evaluar si el nivel de avance en la carrera de Ingeniería Química se relacionaba con los resultados revelados en las encuestas

La encuesta se diseñó utilizando una mezcla del formato binario y múltiple. Es importante mencionar, que antes de proceder a la aplicación definitiva de la encuesta se realizaron un conjunto de pruebas pilotos y se consultó a expertos relacionados con la materia. Para su implementación se utilizó un muestreo intencional, denominado método de experimentos de laboratorio, el cual consistió en encuestar al azar a un grupo de personas que se encontraban en un lugar determinado, por ejemplo en el laboratorio o en aulas de clases (Azqueta, 1994). Cabe destacar que aún cuando la encuesta realizada por este método puede no ser representativa del grupo de estudiantes con las características deseadas, resulta la técnica de valoración más accesible, práctica y económicamente disponible.

La finalidad de la encuesta fue establecer cuál de los dos planes propuestos (recuperación y almacenamiento) estarían los estudiantes dispuestos a apoyar y su disposición a pagar por la implementación de los mismos a fin de mejorar la problemática ambiental que se presenta. Se estimó, por tanto, dos beneficios en forma separada: el beneficio del Plan de Recuperación y el beneficio del Plan de Almacenamiento.

Para obtener los valores de los beneficios de cada uno de los planes propuestos, se calculó la media de los valores revelados por las respuestas positivas para cada uno de los planes propuestos, excluidas las respuestas de protesta, es decir, aquellas encuestas donde las personas se negaron a pagar. El valor calculado es indicativo del beneficio promedio que obtendría cada estudiante de química de la Facultad de Ingeniería. El valor agregado para toda la Escuela de Química resulta de multiplicar esta valoración media por la proporción de estudiantes que apoyan cada uno de los planes.

Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos

El análisis de los datos se efectuó utilizando una matriz donde la información obtenida en las encuestas fueron codificados a valores de (1) para las respuestas afirmativas y (0) a las negativas. Se estableció un nivel de confianza de 0.05 como medida de la probabilidad de cometer un error en el cálculo de los parámetros. Por otra parte, se utilizó la técnica estadística inferencial para efectuar generalizaciones de la muestra a la población y la prueba no paramétricas de ji cuadrado para establecer correlaciones entre las variables seleccionadas.

Análisis de Resultados

Clasificación de las Sustancias Descartadas

En la Tabla 1 se presentan las características de peligrosidad de las sustancias descartadas en el laboratorio de Físicoquímica (LFQ), y su clasificación en función a su posibilidad de recuperación, según lo establecido en el Art. 6 del Decreto N° 2635 (G.O. 5.245E, 1998). Se puede observar que dichas sustancias presentan en su mayoría efectos tóxicos en agua, por contacto o por inhalación, y son inflamables y corrosivas. En cuanto a su naturaleza química están compuestas principalmente por hidrocarburos y mezclas de ellos, aceites minerales, alcoholes, ácidos y bases.

Tabla 1.

Características de peligrosidad de las sustancias descartadas en el Laboratorio de Físicoquímica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo y su clasificación según su Posibilidad de recuperación.

Sustancias Descartadas	Tóxico	Inflamable	Corrosivo	Explosivo	M.N.PR	D.N.P	M.PR	D.P
Hidróxido de sodio	X						X	
Nitrato de Sodio ¹						X		
Ciclohexano		X					X	
Naftaleno	X	X						X
Fenantreno	X							X
n-hexano		X					X	
Alcohol etílico	X						X	
Solución de saca-rosa ¹						X		
Solución de ácido acético			X			X*		
Solución de cloruro de sodio ¹						X		
Solución de cloruro de potasio ¹						X		
Soluciones ternarias de agua-ácido acético-tolueno		X	X					X
Tolueno				X				X
Solución acuosa de hidróxido de sodio	X						X	
Solución alcohólica(metanol) de hidróxido de sodio	X	X					X	
Solución sacarosa-HCl			X			X*		
n- butanol		X		X				X
Ácido clorhídrico			X				X	
Parafina ¹					X			
Difenilamina	X							X
Difenilamina-naftaleno	X							X
Solución hexano-etanol		X					X	
Aceite de soya ¹					X			
Aceite de motor	X							X
Glicerina ¹					X			
Servilletas usadas ²								X
Material de vidrio roto ²								X

M.N.PR: Material no peligroso recuperable

D.N.P: Desecho no peligroso

M.PR: Material peligroso recuperable

D.P: Desecho peligroso

- Previo tratamiento para el ajuste de pH entre 6-9 (Decreto N° 3219, 1999)

1 No presenta característica de peligrosidad.

2 Se consideran peligrosas si se encuentran impregnados de sustancias peligrosas.

Fuente: Autores, según definiciones establecidas en el Decreto N° 2635, 1998.

Según la clasificación realizada en la Tabla 1, el 63 % de las sustancias que se descartan en las prácticas del laboratorio son de naturaleza peligrosa, del cual el 41 % son recuperables, razón por lo cual se justifica la implantación de dos planes de manejo: un Plan de Recuperación para aquellas sustancias que puedan ser reusadas o recicladas y un Plan de Almacenamiento para los desechos peligrosos. Es importante destacar que dentro del porcentaje de sustancias descartadas no peligrosas (37 %) se presenta un 30 % de posibilidad de recuperación, lo cual se realiza actualmente en el laboratorio a través de procedimientos de reuso.

Debe señalarse, que el nitrato de sodio, cloruro de sodio y cloruro de potasio por ser sales inorgánicas no presentan mayor toxicidad. Sin embargo, en las prácticas no existen datos suficientes para verificar si las concentraciones de cloruros y nitrógeno total se encuentran dentro de lo establecido en el Art. 38 del Decreto No 3219

Plan de Recuperación

Los planes de recuperación para los materiales peligrosos se establecieron de acuerdo al Art. 11 del Decreto No 2635 donde se señala que el producto resultante debe reunir las condiciones sanitarias, de seguridad y de calidad, y mediante procedimientos que cumplan las regulaciones ambientales. El Plan de Recuperación comprende las operaciones de recolección, almacenamiento y tratamiento de los materiales peligrosos recuperables para su posterior reuso o reciclaje, según definiciones establecidas en la Ley N° 55 (Tabla 2).

Es importante señalar que las prácticas de laboratorio generan sustancias ácidas y básicas, las cuales se deben someterse a tratamientos previos (ajuste de pH), debido a que propician condiciones en el cuerpo receptor que pueden afectar la biota acuática, aún cuando no se conozca de su efecto tóxico o agudo. En este grupo de sustancias se encuentra las soluciones de ácido acético, ácido clorhídrico y soluciones ácidas de sacarosa. A fin de ajustar el pH de estas soluciones al rango establecido en la norma (Art. 38, Decreto No 3219), se utilizará como parte del titulante requerido para la neutralización, la solución acuosa de hidróxido de sodio recuperada. Este procedimiento permite reciclar una sustancia descartada, disminuyendo la utilización de soluciones básicas vírgenes y a la vez, sometiendo a otras a un tratamiento que permita su descarga hacia las redes cloacales.

Tabla 2. Plan de Recuperación de materiales peligrosos del Laboratorio de Físicoquímica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo.

Material Peligroso Recuperable (MPR)	Cantidad Recuperada por año (l)	Tipo de Recuperación (Ley N° 55)	Procedimiento de Recuperación
Hidróxido de Sodio (Medio acuoso)	3.23	Reciclaje	Recoger en un frasco de vidrio tapado por día de práctica. Utilizarlo en la valoración de las soluciones de ácidos acético, clorhídrico y sacarosa ácida, para neutralizarlas a un pH entre 6 y 9 (Decreto 3219).
Ciclohexano	8.23	Reuso	Recoger en envases plásticos la mezcla de Ciclohexano-naftaleno-fenantreno. Realizar una destilación en el equipo apropiado. Obtener el ciclohexano como destilado. La mezcla del residuo almacenarla como desecho peligroso.
n-Hexano	0.50	Reuso	
Alcohol Etilico	1.33	Reuso	Recoger en un frasco de vidrio bien tapado, por su volatilidad, por día de práctica
Mezcla de n-Hexano y Alcohol Etilico	6.86	Reuso	Usarlo de nuevo en los ensayos del laboratorio.

Plan de Almacenamiento

El almacenamiento como parte del manejo de los desechos peligrosos, debe realizarse en condiciones que no generen peligro a la salud y al ambiente; es por ello, que debe cumplir con las regulaciones contenidas en la normativa legal vigente (Art. 40, Decreto No 2635, 1998). En la Figura 1. se muestra esquemáticamente los pasos a seguir en el diseño de un Plan de Almacenamiento para los desechos peligrosos.

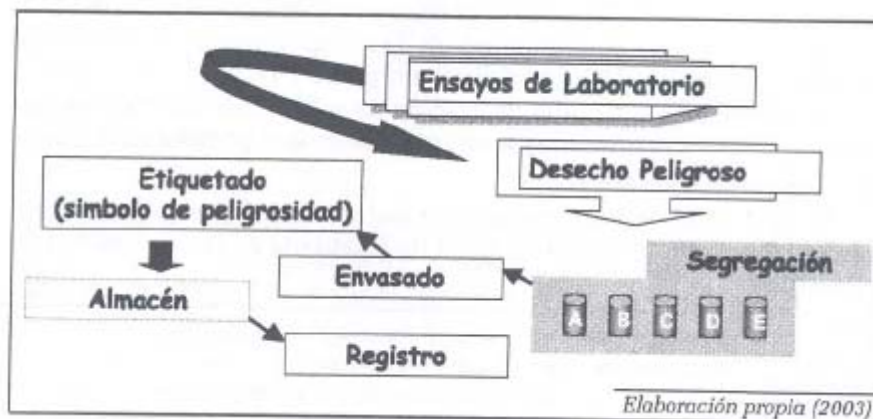


Figura 1. Esquema del Plan de Almacenamiento de desechos peligrosos en el Laboratorio de Físicoquímica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo.

El Art. 35 del Decreto N° 2635, establece que ningún desecho peligroso deberá permanecer más de cinco años en un almacén. Los desechos peligrosos que ofrezcan riesgos de tipo 4 ó 5 no deben permanecer en condiciones de almacenamiento temporal durante más de un año, sin haber sido tratados o tomado las medidas necesarias de manera que se haya minimizado el riesgo ambiental y el peligro a la salud. Se sugiere, por tanto, realizar un estudio del análisis de riesgo de los desechos peligrosos generados, según lo establecido en el Art. 8, Decreto N° 2635.

No obstante, como no existe rellenos de seguridad en el país, el Decreto N° 2635 establece planes que permiten a la Universidad adecuarse a la normativa ambiental. Con un plan de adecuación se puede extender el tiempo de almacenamiento temporal, hasta tanto no consiga realizar una disposición final segura de los desechos o el tratamiento de los mismos, para minimizar su toxicidad, a través de empresas que se encargan de hacerlo.

Valor asignado por los estudiantes

Una vez establecido los planes de recuperación y almacenamiento, se procedió a realizar la valoración económica de los mismos. En principio se determinó el beneficio ambiental a través del método de valoración contingente, utilizando una encuesta como instrumento de valoración. El cuestionario de la encuesta se elaboró en tres partes:

- Parte I: Un primer bloque de preguntas informativas, donde se familiarizó al encuestado con el objeto a valorar y se relacionó el nivel de avance en la carrera de Ingeniería Química con el conocimiento de la problemática ambiental que se presenta en el laboratorio de Fisicoquímica, enfocada en tres aspectos, a saber:

Pregunta 1.- Conocimiento sobre las características de peligrosidad de los reactivos químicos utilizados en las prácticas.

Pregunta 2.- Conocimiento sobre las medidas de seguridad a seguir.

Pregunta 3.- Conocimiento sobre la peligrosidad de las sustancias que se descartan en el LFQ y su plan de manejo.

En el Gráfico 1 se aprecia que los estudiantes que ya cursaron el Laboratorio de Fisicoquímica (LFCy poseen un nivel de conocimiento mayor en las tres preguntas anteriores que los que están actualmente cursando el laboratorio y éstos a su vez conocen en mayor proporción con respecto a aquellos que aún no han cursado el LFQ. Utilizando la prueba X2 se demostró que la relación nivel de conocimiento y el avance en la carrera era significativa (Tabla 3), este resultado se corresponde con el esperado, lo cual permite verificar la autenticidad de los resultados obtenidos en las encuestas

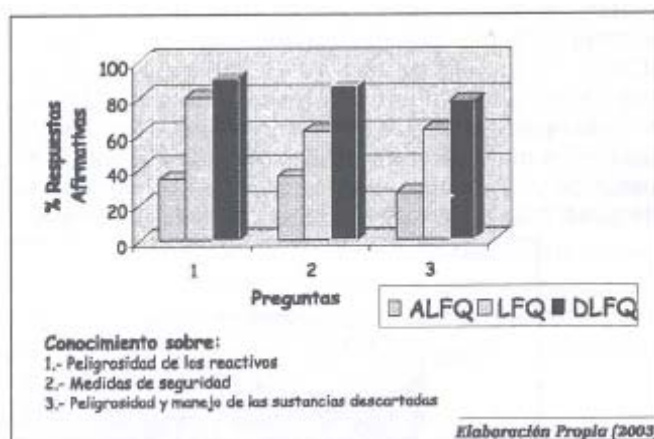


Gráfico 1. Nivel de conocimiento de la problemática según el nivel de avance en la carrera A= Antes L= cursantes del Laboratorio de Fisicoquímica; D= Después de cursar la asignatura. Fuente: Datos muestrales.

Tabla 4. Relación entre el nivel de conocimiento de la problemática ambiental del Laboratorio de Físicoquímica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo y el avance en la Carrera.

Pregunta No.	X ² calculado	X ² tabla1	Resultado ²
1	65.098	5.991	Es significativo
2	42.138	5.991	Es significativo
3	50.437	5.991	Es significativo

Nota: ¹ Corresponde a la tabla de distribución de ji cuadrado suponiendo un 0.05 de nivel de confianza (Hernández, Fernández y Baptista, 1998).

² Se considera significativo si X² calculado > X² tabla.

Fuente: Datos muestrales. Elaboración propia (2003).

Parte II Un bloque intermedio contentivo de las preguntas claves de valoración económica. Como se aprecia en el Gráfico 2, una proporción igual de estudiantes (49%) están dispuestos a colaborar con los dos planes de manejo propuestos o con uno solo, frente a un 2 % que no apoyan ninguno. Los encuestados que apoyan un solo plan de manejo (Gráfico 3) se inclinan en un 87% hacia el Plan de Recuperación y el porcentaje restante al Plan de Almacenamiento. Al realizar las encuestas se tuvo la oportunidad de entrevistar personalmente a algunos estudiantes, los cuales manifestaron como expectativa el apoyo hacia el Plan de Recuperación ya que se relaciona con su área de estudio, y atribuían el aspecto de almacenaje como competencia de la Universidad de Carabobo.

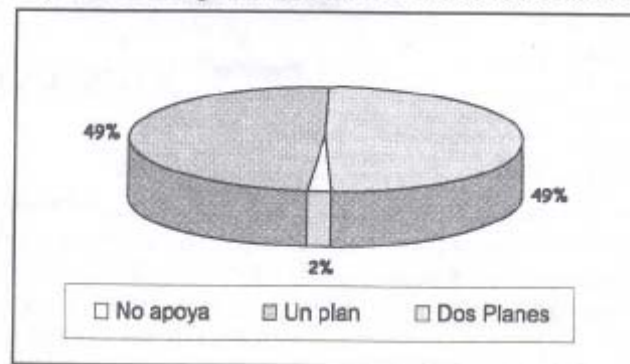


Gráfico 2.- Disposición a apoyar los planes de manejo propuestos en el Laboratorio de Físicoquímica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo. Fuente: Datos muestrales. Elaboración propia (2003).

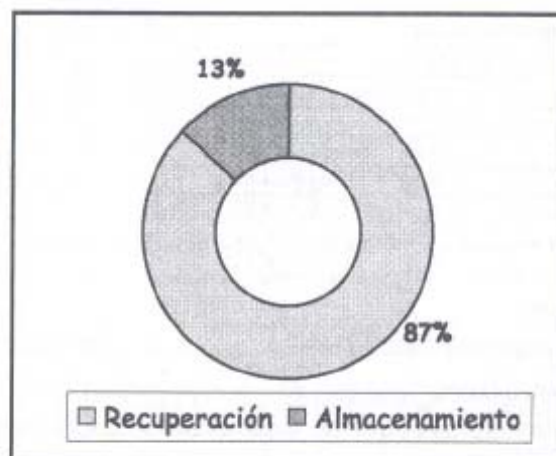


Gráfico 3.- Distribución de los estudiantes que apoyan un plan de manejo en el Laboratorio de Físicoquímica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo. Fuente: Datos muestrales. Elaboración propia (2003).

- Parte III. Un bloque final de preguntas dirigidas a investigar las características socioeconómicas de los encuestados relativas a la edad, el estado civil, el sexo, el lugar de residencia y el ingreso. Las características del grupo entrevistado son relativamente homogéneas: la edad promedio es de 22 p 3 años, el estado civil 96 % solteros, en su mayoría no trabajan (90 %) y el 80 % de los encuestados tienen un ingreso familiar promedio menor a 1.000.000 Bs./mes con un promedio en 700.000 Bs/mes. El análisis de correlación de éstas variables aplicando la prueba X², se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Relación entre la disposición a pagar por cada uno de los planes propuestos en el Laboratorio de Físicoquímica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo y las variables sexo, residencia, ingreso y nivel de avance en la carrera.

Variables	Plan de Recuperación		Resultado	Plan de Almacenamiento		Resultado ^b
	X ² calculado	X ² tabla ^a		X ² calculado	X ² tabla ^a	
Sexo	1.532	11.070	No es Significativo	4.543	11.070	No es Significativo
Residencia	4.263	11.070	No es Significativo	7.291	11.070	No es Significativo
Ingreso	26.475	37.652	No es Significativo	32.271	37.652	No es Significativo
Nivel de Avance	21.824	18.307	Es significativa	7.055	18.307	No es Significativa

Nota: ^a Corresponde a la tabla de Distribución de ji cuadrado suponiendo un 0.05 de nivel de confianza (Hernández, Fernández y Baptista, 1998).

^b Se considera significativo si X² calculado > X² tabla.

Fuente: Datos muestrales. Elaboración propia (2003).

Es importante destacar que las características socioeconómicas no se relacionan significativamente con la disposición a pagar; sin embargo es significativa la relación entre el nivel de avance de la carrera de Ingeniería Química y el plan de manejo basado en la recuperación de las sustancias descartadas, lo cual esta en concordancia con el mayor grado de

conocimiento de la problemática ambiental del LFQ y con la afinidad manifestada por los estudiantes hacia este plan.

Beneficios Ambientales

Los beneficios ambientales para cada uno de los planes propuestos, obtenidos de las encuestas mediante el método de valoración contingente, se presentan en la Tabla 5. En la misma se evidencia que la población de estudiantes que está dispuesta a pagar por la implementación del Plan de Recuperación es mayor que la que apoya el Plan de Almacenamiento. Esto está en concordancia con los resultados que se muestran en los gráficos 2 y 3, donde se aprecia la inclinación de los estudiantes por el Plan de Recuperación.

Tabla 5. Beneficios Ambientales por el Método de Valoración Contingente en el Laboratorio de Físicoquímica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo

	Plan de Recuperación	Plan de Almacenamiento
Disposición a pagar por estudiante (Bs/año)	5400, ⁰⁰	5200, ⁰⁰
Apoyo a los planes (%)	93	55
Población dispuesta a colaborar (Nº estudiantes)	1209	715
Beneficio (Bs)	6.528.600, ⁰⁰	3.718.000, ⁰⁰

Fuente: Datos muestrales. Elaboración propia (2003).

Relación Beneficios-Costos

En la Tabla 6 se muestran los costos (C) del Plan de Recuperación, los beneficios (B), tanto económicos (debido al reuso o reciclaje de reactivos) como ambientales (estimado por el método de valoración contingente) y la relación beneficio/costo (B/C) obtenida en su implementación.

Tabla 6. Relación Costo/Beneficio del Plan de Recuperación en el Laboratorio de Físicoquímica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo

Costos ¹ (Bs)		Beneficios (Bs)	
Equipos	356.000, ⁰⁰	Económicos ²	720.040, ⁰⁰
Servicios	30.000, ⁰⁰		
Personal	224.000, ⁰⁰	Ambientales ³	6.528.600, ⁰⁰
Total	610.000, ⁰⁰		
		Total	7.248.640, ⁰⁰
		B/C ⁴	1,18

Fuentes: ¹ Cotizaciones. ² Datos del Laboratorio.

³ Datos muestrales

⁴ Cálculo sólo en base al beneficio económico.

Como se observa en la Tabla 6, la relación B/C es mayor que uno (1,18), solo considerando los beneficios económicos obtenidos en el plan, lo cual determina una rentabilidad positiva desde el punto de vista económico. Sin embargo, si se consideran los beneficios ambientales, aumentaría significativamente la relación calculada, debido a la alta valoración dada por los estudiantes a

este plan. Esto evidencia que el plan de recuperación propuesto es factible económica y ambientalmente, y a la vez se estaría cumpliendo con las regulaciones ambientales.

Por otra parte, en la Tabla 7 se presentan los costos necesarios para acondicionar el área seleccionada como almacén temporal de desechos peligrosos, el beneficio ambiental y la relación beneficio/costo obtenida en este plan propuesto.

Tabla 7.- Relación Costo/Beneficio del Plan de Almacenamiento en el Laboratorio de Físicoquímica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo

Costos ¹ (Bs)	Beneficios Ambientales ² (Bs)	
Equipos	181.679, ⁰⁵	
Materiales	1.983.382, ⁶⁰	
Personal	203.622, ⁰⁰	3.718.000,00
Administrativos	2.745.568, ²⁰	
Total	5.114.252, ¹⁰	
B/C	0,73	

Fuente: ¹ Cotizaciones

² Datos muestrales

Elaboración propia (2003).

En la Tabla 7, se aprecia que la relación B/Ces menor que uno (0,73), lo cual permitir concluir que el plan no es rentable. Sin embargo, se debe destacar que el costo de acondicionamiento del almacén representa un gasto que se realizará únicamente al inicio del plan. Posteriormente el costo estará representado por el gasto de mantenimiento del mismo, el cual es significativamente menor, dando lugar a una relación mayor que uno (1) en años venideros.

Finalmente, y englobando todo los resultados obtenidos, se pudo constatar que el Laboratorio de Físicoquímica no reúne las condiciones de identificación y clasificación adecuada de los reactivos en función a las normativas ambientales y de seguridad laboral. Por otra parte, aun cuando en el laboratorio se ha implementado en los últimos años programas de disminución en la generación de desechos peligrosos, no se establece una diferenciación apropiada entre las sustancias peligrosas y no peligrosas, por lo que su manejo no está acorde con las normas ambientales que rigen la materia. englobar

Debido a esto, se proponen dos planes de manejo de las sustancias que se descartan en el laboratorio de acuerdo a sus características de peligrosidad y posibilidad de recuperación. La valoración realizada demostró que el Plan de Recuperación cuenta con un mayor apoyo por parte de los estudiantes, con respecto al Plan de Almacenamiento, el cual consideran debe ser una atribución de la Universidad.

De acuerdo a las relaciones B/C obtenidas se evidencia que los planes propuestos son viables económicamente, cuentan con el apoyo de los estudiantes, a la vez que se contribuye en gran medida con la preservación del ambiente y en consecuencia con el cumplimiento de las normativas legales.

Conclusiones

En la presente investigación se estableció que el 63 % de las sustancias descartadas en el laboratorio presentan características peligrosas, principalmente toxicidad e inflamabilidad, ya que las mismas están constituidas principalmente por hidrocarburos, alcoholes, ácidos y bases. El 41 % de estas sustancias peligrosas conservan propiedades que permiten su recuperación.

Los Planes de Recuperación y Almacenamiento se diseñaron de acuerdo a las condiciones establecidas en el Decreto N° 2635 y las posibilidades técnicas de aplicación en el laboratorio.

Para estimar la relación beneficio/costo se determinaron los beneficios ambientales de los planes de manejo propuestos mediante el Método de Valoración Contingente. Para el Plan de Recuperación, el beneficio ambiental promedio por estudiante es de 5400 Bs/año, y de 5200 Bs/año para el Plan de Almacenamiento.

Una proporción igual de estudiantes (49%) está dispuesta a colaborar con los dos planes de manejo o con uno solo, frente a un 2 % que no apoyan ninguno. Los que apoyan un solo plan se inclinan en un 87% hacia el plan de recuperación y en un 13% al otro plan.

La disposición a pagar por cada uno de los planes propuestos no se relaciona significativamente con las variables socioeconómicas estudiadas (sexo, residencia e ingreso familiar), ya que la población encuestada presenta características homogéneas en cuanto a edad, trabajo e ingreso. Sin embargo, se verificó que el nivel de avance en la carrera de Ingeniería Química si se relaciona significativamente con el conocimiento de la problemática ambiental del laboratorio y con la disposición a apoyar el Plan de Recuperación.

Finalmente, la relación beneficio/costo es de 1,18 para el Plan de Recuperación, sin considerar los beneficios ambientales, los cuales aumentarían significativamente la relación calculada. Para el Plan de Almacenamiento es de 0,73 para el primer año de funcionamiento, previéndose una relación mayor para años posteriores.

Recomendaciones

A fin de que la Universidad de Carabobo se incorpore dentro de un sistema de Gestión Ambiental que propicie la sustentabilidad, es fundamental que se establezca una política específica dentro del marco ambiental, que contemple los aspectos relacionados con el área, a fin de que todas las actividades susceptibles de degradar el ambiente sean consideradas. Dicha política además de cumplir con las normativas legales, debe complementarse con la tendencia descentralizada de persuasión moral a través de la educación de la comunidad universitaria.

Para futuras investigaciones se recomienda realizar un estudio económico similar contemplando una muestra representativa del personal docente, administrativo y obrero de la Escuela de Ingeniería Química.

Bibliografía

- Azqueta, D. (1994). Valoración Económica de la Calidad Ambiental. Madrid: McGraw-Hill.
- Canter, L. (1997). Manual de Evaluación de Impacto Ambiental: Técnicas para la elaboración de los estudios de impacto. Madrid: McGraw-Hill
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) (1999). [Online]. Disponible en: <http://www.cepis.org.pe>
- Comisión Venezolana de Normas Industriales. (1996). COVENIN-ISO 14001: Sistema de Gestión Ambiental. Caracas: Autor.

Constitución de la Republica Bolivariana de Venezuela (1999). Gaceta Oficial de la Republica de Venezuela, Año CXXVII Mes 111 N° 36.860. Caracas, 30 de Diciembre de 1999.

Hernández, R., Fernández C. y Baptista, P (1998). Metodología de la Investigación. (2da ed.) México: McGraw-Hill.

LaGrega, M., Buckingham, P y Evans, J. (1996). Gestión de Residuos Tóxicos. México: McGraw-Hill.

Ley Orgánica del Ambiente (1976). Gaceta Oficial de la Republica de Venezuela, N° 31.004, junio 15, 1976.

Ley Penal del Ambiente (1992). Gaceta Oficial de la Republica de Venezuela, N° 4.358 (Extraordinario), Enero 2, 1992.

Ley sobre Sustancias, Materiales y Desechos Peligrosos. (Ley N° 55) (2001) Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela, No 5.554 (Extraordinario), Noviembre 13, 2001.

Mujica, V (2002). Establecimiento de un Sistema de Gestión Ambiental bajo la Normativa ISO 14000 en el Laboratorio de ingeniería Química de la Universidad de Carabobo. Tesis de grado de maestría no publicado. Universidad de Carabobo, Valencia.

Nebel, B. y Wright R. (1999). Ciencias Ambientales: Ecología y Desarrollo Sostenible. (6ta edición) México: Prentice Hay Hispanoamericana, S.A.

Normas para el Control de la Recuperación de Materiales Peligrosos y el Manejo de los Desechos peligrosos (Decreto No 2.635). (1998). Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 5.245 (Extraordinario), Agosto 3, 1998.

Normas para el Manejo de Desechos Sólidos de Origen Doméstico, Comercial e Industrial o de cualquier otra Naturaleza que no sean Peligrosos. (Decreto N° 2.216). (1992). Gaceta Oficial de la República de Venezuela, N° 4.418 (Extraordinaria), Abril 23,1992.

Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de las Aguas de la Cuenca del Lago de Valencia. (Decreto N° 3.219). (1999). Gaceta Oficial de la República de Venezuela, N° 5.305 (Extraordinario). Febrero 1, 1999.

Perry, R y Green, D. (1998). Perry's Chemical Engineers' Handbook (7th edition). USA: McGraw-Hill

Universidad de Chile (2003). Informe N° 4 Economía Ambiental: Actualidad en Gestión y Políticas Públicas. [On-line]. Disponible en: <http://www.dii.uchile.cl>

Universidad de Concepción (1998). Reglamento de Manejo de Residuos Peligrosos. Chile: Autor.

Universidad de Sevilla. (2001). Generación de Residuos Peligrosos en el Laboratorio. Sevilla: Autor.

University of Maryland. Department of Environment Safety. (2000). [On-line]. Disponible en: <http://www.inform.umd.edu>