

HACIA UNA GESTIÓN DE REACTIVOS Y RESIDUOS QUÍMICOS EN LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA DE LA ESCUELA DE QUÍMICA EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL

TOWARDS A CHEMICAL REAGENTS AND RESIDUES MANAGEMENT AT THE TEACHING LABORATORIES OF THE CHEMISTRY SCHOOL OF THE UNIVERSIDAD NACIONAL

*Ana Cristina Benavides Benavides¹,
Xinia Vargas González¹,
Gustavo Chaves Barboza¹ y
José Ángel Rodríguez Corrales¹*

RESUMEN

Las actividades académicas que se realizan en la Escuela de Química hacen indispensable la puesta en marcha de acciones orientadas a la consolidación de una gestión de los reactivos y residuos, especialmente en los laboratorios de docencia. El proyecto "MANEJO DE REACTIVOS Y RESIDUOS EN LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA DE LA ESCUELA DE QUÍMICA" orienta su quehacer en los principios de Química Verde, la cual se ocupa del diseño de productos o procesos químicos que reducen o eliminan el uso y producción de sustancias peligrosas, en beneficio del ambiente. Con una visión preventiva, se procura un cambio desde las mismas prácticas de laboratorio al seleccionar las que causen un menor impacto al ambiente. Además se realiza una cuantificación rigurosa de los residuos y el desarrollo de protocolos de manejo de los mismos para cada una de las prácticas. El proyecto se desarrolla en varias etapas: diagnóstico, implementación de acciones, capacitación de estudiantes, personal docente y administrativo y evaluación durante el proceso y

al final. El artículo destaca aspectos metodológicos de la puesta en marcha de este proyecto, y enfatiza en la cuantificación de reactivos y residuos a través de diagramas de flujo.

Palabras clave: gestión de reactivos y residuos, química sustentable.

ABSTRACT

The academic activities carried out at the School of Chemistry make indispensable to develop actions oriented toward the consolidation of a reagent and residue management system, especially in the teaching laboratories. The project "Management of reagents and residues in the teaching laboratories of the School of Chemistry" works under the Green Chemistry values which designs products and chemical processes that reduce or eliminate the use and production of dangerous substances, to benefit the environment. With a preventive vision, a change from the laboratory practices is looked to select those with less environmental impact. Additionally, residue quantification is made

¹ Escuela de Química. Universidad Nacional. cristinabenavidesb@gmail.com, xiniavargas.gonzalez@gmail.com, gustavocb06@gmail.com, joserodriguez.una@gmail.com

and its management protocols are developed for each practice. The project has several stages: diagnose, action implementation, student, teacher and administration personnel training and evaluation during the process and at the end of it. The article describes methodological aspects of the project operation emphasizing on reagent and residue quantification through flow diagrams.

Keywords: reagent and residue management, sustainable chemistry.

INTRODUCCIÓN

La Química Verde o Química Sustentable es un área multidisciplinaria de la Química que propone prevenir la contaminación desde su origen mediante el diseño, o rediseño de procesos químicos. Miranda (2010) indica que la "Química Verde tiene como objetivo el diseño de productos o procesos que reduzcan o eliminen el uso o la producción de sustancias peligrosas para el ser humano y el medio ambiente". El concepto de Química Sustentable también incluye la optimización del consumo energético, el uso de fuentes renovables para la producción de energía y productos químicos, como alternativa a la petroquímica, y la economía atómica para minimizar la producción de residuos.

Para entender de donde surge el concepto de Química Verde, se debe revisar la historia del mismo. Es así como en el año 1972 el Informe Meadows, critica fuertemente la promoción del crecimiento económico, indicando que éste era incompatible con los objetivos de protección del medio ambiente (Unilever, 2007; Zaragoza, UNAM, 2008, citado por León, F. (2009). En ese mismo año, en la Conferencia de Estocolmo, se creó el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).

Un evento importante a destacar en este resumen histórico es el informe "Nuestro Futuro Común", más conocido como el Informe Bruntland, elaborado por la Comisión de Medio Ambiente y Desarrollo de Naciones Unidas. En este informe se establece que

El Desarrollo Sostenible, implica el satisfacer las necesidades del pre-

sente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras. Siguiendo esta filosofía, y poco después de haberse aprobado en los Estados Unidos de Norteamérica, la Ley de Prevención de la Contaminación de 1990, la Oficina de Prevención de la Contaminación y Sustancias Tóxicas de la EPA (Office of Pollution Prevention and Toxics, OPPT) empezó a explorar la idea de desarrollar productos y procesos químicos nuevos o mejorar los existentes, para disminuir el peligro a la salud humana y al medio ambiente. En 1991, la Oficina de Prevención de la Contaminación y Sustancias Tóxicas de la EPA (OPPT) puso en marcha el programa modelo de subvenciones a la investigación "Rutas Sintéticas Alternativas para la Prevención de la Contaminación". <<http://www.unizar.es/icma/divulgacion/quimica%20verde.html>> (2011)

Es importante indicar que la Química Verde, se basa en doce principios fundamentales propuestos por Paul Anastas, y John C. Warner. Estos principios son:

1. Prevención: evitar la producción de residuos contaminantes.
2. Maximizar la economía atómica, lo cual significa el concepto de eficiencia desde el punto de vista atómico en una reacción química.
3. Síntesis menos contaminantes.
4. Diseño seguro: los productos químicos deberán ser diseñados de manera que mantengan su eficacia a la vez que reduzcan su toxicidad.
5. Uso disolventes, reactivos de separación, etc. lo más inocuos posible.
6. Eficiencia energética: los requerimientos energéticos serán catalogados por su impacto ambiental y económico, y se reduce todo lo posible.

7. Uso de materias primas renovables.
8. Reducción de derivados en los procesos físicos/químicos.
9. Uso de catalizadores en forma selectiva en vez de utilizar reactivos en cantidades estequiométricas.
10. Degradación limpia de los productos químicos de manera que no persistan en el ambiente, sino que se transformen en productos de degradación inocuos.
11. Análisis continuo de contaminación por medio de metodologías analíticas para permitir un monitoreo y control en tiempo real del proceso.
12. Selección de sustancias en los procesos químicos que minimicen el potencial de accidentes químicos, incluidas las emanaciones, explosiones e incendios.

Atendiendo lo anterior, se requiere que en todo laboratorio que utilice sustancias químicas se debe contar con un programa capaz de reducir los riesgos inherentes al empleo de esas sustancias. Las acciones deben iniciarse desde el momento en que los laboratorios van a desarrollar un procedimiento, y previene la cantidad, el tipo y la peligrosidad de los residuos generados.

La gestión de residuos, implica un esfuerzo para reducir las sustancias peligrosas desde el origen. Lo anterior obliga a elaborar prácticas nuevas de laboratorio, o hacer modificaciones en las existentes. Además, se

considera la cuantificación de los residuos y su clasificación.

Un referente importante en la gestión de reactivos y residuos, es el modelo de jerarquía de los residuos presentado en la figura 1.

Este modelo aclara en una estructura piramidal las diferentes fases que orientan la gestión propuesta como estrategia de trabajo e incluye: reducir, lo cual implica la revisión de cada uno de los procedimientos de las prácticas que se realizan en los cursos de laboratorio. Se limita, por ahora, esta etapa a los cursos correspondientes a la cátedra de Química General. La segunda fase denominada de reciclaje y reutilización, compromete al grupo de investigadores a desarrollar estrategias para separar mezclas o bien generar productos que puedan ser utilizados en otros momentos del curso. En algunos casos se permite la devolución de los materiales a recipientes para que sean aprovechados por otros estudiantes, de esta manera, se evita el consumo excesivo de reactivos. En la etapa de tratamiento se desarrollan los protocolos que permitirán generar el proceso químico para la conversión de los residuos en sustancias aprovechables y en lo posible residuos de menor impacto al ambiente. La última fase corresponde con la disposición final de los desechos químicos que estará regido por la normativa institucional.

Es importante destacar que la Universidad Nacional, cuenta con una Política Ambiental UNA-Gaceta, (2003), en la cual se establecen los compromisos y estrategias para su implementación.

Existe además, el proyecto UNA - CAMPIUS SOSTENIBLE, creado en el año



Figura 1: Modelo de jerarquía de los reactivos y residuos.

Fuente: Elaboración propia

2006, y adscrito a la Vicerrectoría Académica. Este proyecto promueve una estrategia para el manejo de desechos tanto químicos como de otra índole y está dirigido a todas las instancias en donde se generen, procurando darles el manejo adecuado.

De esta manera, la Escuela de Química de la Universidad Nacional, plantea dentro de su gestión académico-administrativa el mejorar las condiciones de seguridad en los laboratorios, así como definir un plan de gestión para el manejo y disposición de residuos.

Considerando los principios de Química Verde, el equipo investigador realiza las siguientes acciones:

1. Conocimiento de las características de los reactivos empleados

Las hojas de seguridad son documentos elaborados por el equipo de investigadores, adaptado del formato propuesto en la segunda versión del Sistema Globalmente Armonizado (GHS), Naciones Unidas (2007), por sus siglas en inglés, en donde se recopila información relacionada con las propiedades físicas y químicas de una sustancia, sus efectos potenciales sobre la salud y el ambiente, el modo de trabajar en forma segura, su almacenamiento y medidas de intervención, entre otros.

La hoja de seguridad adaptada, posee las siguientes secciones generales:

- a. Identificación del producto. Incluye Identificación de la sustancia,
- b. Identificación del peligro.
- c. Composición e información sobre los constituyentes de cada sustancia.
- d. Primeros Auxilios.
- e. Medidas de lucha contra incendios y en caso de vertido accidental.
- f. Manipulación y almacenamiento.
- g. Controles de exposición/protección personal.
- h. Propiedades físicas y químicas.
- i. Estabilidad y reactividad.
- j. Información toxicológica.
- k. Información ecotoxicológica.

- l. Información relativa a la eliminación de productos.
- m. Información relativa al transporte
- n. Información sobre la reglamentación.
- o. Otras informaciones.

2. Matriz de evaluación de prácticas mediante la técnica de control de bandas

Esta matriz evalúa los desechos generados en cuanto a su volumen, concentración y peligrosidad (evaluada en función de la dosis letal 50, o LD50, impacto en organismos acuáticos y terrestres, efectos sistémicos e inflamabilidad). Se asignan valores cuantitativos al volumen y concentración de soluto en función de intervalos adaptados a las condiciones de un proceso. La peligrosidad se evalúa en función de información presente en las hojas de seguridad, como las frases R (se refieren a riesgos específicos una sustancia) y S (indican consejos de prudencia que se deben de tomar en cuenta al utilizar determinada sustancia), el rombo de la Agencia Nacional de Protección contra Incendios de los Estados Unidos, y la dosis letal, asignándole valores numéricos a cada uno de estos parámetros según lo describen González Murillo, A.H., Mora Aparicio, C., Rodríguez Corrales, J.A. y Solís Ocampo, C., (2011). Entre mayor sea el valor obtenido al aplicar la matriz, mayor será el impacto sobre el ambiente que tendrá el desecho generado.

3. Cuantificación de residuos

La cuantificación detallada de cada uno de los desechos generados en cada una de las prácticas, se determina considerando el aporte parcial de cada una de las sustancias al aporte total. Además, se determinan los volúmenes generados por familia en cada práctica. Finalmente, se cuantifica la cantidad y el tipo de desecho depositado en cada uno de los recipientes recolectores.

4. Elaboración de prácticas nuevas o modificación de las existentes

Luego del análisis de los desechos generados en cada una de las prácticas de laboratorio y sometidos estos a la matriz de evaluación de

prácticas mediante la técnica de *control de bandas*, se determina la sustitución de las prácticas que alcanzan valores altos, además se revisan la totalidad de las prácticas con el fin de ajustar procedimientos con una visión de reducción máxima de reactivos utilizados, o el cambio de los mismos por otros menos impactantes y la reutilización cuando proceda.

5. Propuesta de tratamiento

Se establecen propuestas para el tratamiento de los residuos generados en las diferentes prácticas de laboratorio que se realizan tomando en cuenta el Protocolo para la Disposición Final de Desechos Peligrosos en la Universidad Nacional y la colaboración de la Regencia Química Institucional de la Universidad Nacional.

METODOLOGÍA

La metodología utilizada en este trabajo, se describe en la siguiente figura:

Figura 2: Etapas de la Metodología



Fuente: Elaboración propia.

1. Diagnóstico de los problemas o situaciones que se presentan en los laboratorios de docencia

Para el diagnóstico de los problemas o situaciones se aplicaron varias estrategias como talleres, recorridos exploratorios y encuesta. La encuesta fue aplicada en línea a administrativos y docentes e incluyó los siguientes apartados:

- Infraestructura en la Escuela de Química

- Seguridad en el laboratorio
- Condiciones de los laboratorios y equipos
- Gestión de residuos
- Elaboración de folletos de prácticas de laboratorio en un marco de Química Verde
- Talleres y capacitaciones sobre manejo de reactivos y residuos

2. Implementación de estrategias de solución:

Los problemas evidenciados en el diagnóstico fueron atendidos a través de estrategias de corto, mediano y largo plazo y se han ido implementando conforme se van dando las condiciones para su ejecución. La flexibilidad del proceso permite incorporar aspectos no considerados inicialmente.

3. Capacitación:

Debido a que los temas de seguridad y gestión de reactivos y desechos son de suma importancia, se establecieron talleres de capacitación con el fin de abordar estas temáticas y promover cambios en la conducta de las personas involucradas.

4. Evaluación:

La realimentación en todo proceso se fortalece a partir de la revisión de lo realizado, por lo tanto la discusión en el seno del equipo de trabajo es tarea vital para el mejoramiento de cada una de las tareas implicadas en esta gestión académica.

RESULTADOS

Los principales logros de la puesta en práctica de esta estrategia son:

LOGROS

- ✓ Elaboración de hojas de seguridad con formato propio para los reactivos utilizados en la totalidad de prácticas de laboratorio que se imparten en la Escuela.

- ✓ Elaboración de hojas de seguridad con formato propio para los residuos de algunas de las prácticas de laboratorio.
- ✓ Realización de un inventario de residuos para los laboratorios que se ofrecen en las Cátedras de Química Orgánica, Química Analítica, Química General.
- ✓ Elaboración y aplicación de una matriz de control de bandas para evaluación del impacto ambiental de cada una de las prácticas de laboratorio.
- ✓ Diseño y adecuación de prácticas de laboratorio bajo un enfoque de Química Verde.
- ✓ Cuantificación de residuos en cada una de las prácticas de laboratorio que se realizan en la Cátedra de Química General.
- ✓ Establecimiento de grupos piloto para la implementación de las prácticas elaboradas o modificadas.

A pesar de que estos logros son importantes y variados, para fines de este artículo se resaltarán el trabajo realizado en relación con la cuantificación de residuos.

En reuniones realizadas por los académicos miembros de este grupo de investigación con el regente universitario y con base en la información de residuos generados se asignaron los siguientes familias o grupo con el fin de realizar una adecuada segregación. Cada una de las familias o grupos se asocian con un número. El cuadro 1 muestra las familias o grupos asignados según el tipo de residuo que se genera, de acuerdo a la normativa institucional.

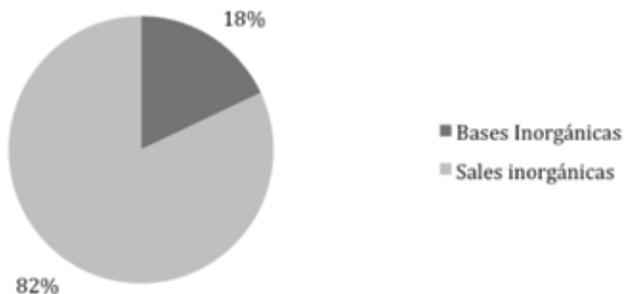
Cuadro 1. Familias establecidas de acuerdo con los desechos generados

FAMILIA O GRUPO	#
BASES INORGÁNICAS	5
ÁCIDOS INORGÁNICOS	3
ORGÁNICOS HALOGENADOS	2
ORGÁNICOS NO HALOGENADOS	1
SALES INORGÁNICAS	3
SALES ORGÁNICAS	4
METALES PESADOS	8

Además se estableció un formato para el etiquetado de los recipientes que contienen residuos basado en la etiqueta propuesta por la Regencia Química.

En la gráfica 1, se puede observar que los residuos generados por el grupo piloto de laboratorio de Química General I, durante el I Ciclo del 2011, se desglosan porcentualmente de la siguiente forma: el 82% de los residuos se clasifican dentro del grupo de sales inorgánicas, además un 18 % se ubica en la categoría de bases inorgánicas. Es importante evidenciar que no se producen sustancias de alta toxicidad como por ejemplo sustancias orgánicas halogenadas o metales pesadas.

Gráfico 1: Contribución porcentual de los residuos en las familias establecidas



En la gráfica 2 se evidencia que únicamente un 8% de los desechos líquidos se vierte en el drenaje, y se rescató el 92% como desechos líquidos recuperados (18%) y con posibilidad de tratamiento (74%).

En relación con los desechos sólidos el 100% generado por el grupo piloto en el mismo periodo fue recuperado.

La descripción química de las sustancias sólidas recuperadas se muestra en la gráfica siguiente. Es importante indicar que la totalidad de los desechos sólidos fueron recuperados.

En relación con los desechos líquidos recuperados durante el I ciclo del 2011, en el grupo piloto, se presentan los siguientes: 1-butanol (5%), 1-pentanol (6%), ácido acético (63% y etanol (7%).

Gráfico 2: Disposición final de los desechos líquidos en función de porcentajes

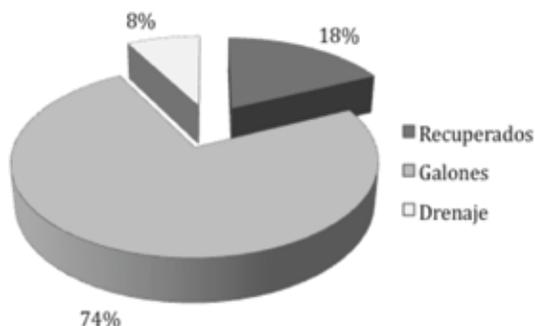


Gráfico 3. Composición porcentual por masa de los desechos sólidos recuperados.

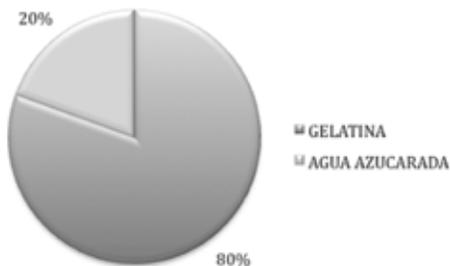


En términos generales, en relación con la cantidad de residuos líquidos generados, se tiene la siguiente cuantificación:

Cuadro 2. Residuos depositados en los recipientes según familia

Residuos depositados en los recipientes según familia	Cantidad (mL)	Cantidad generada/grupo trabajo (mL)
Hidróxido de magnesio	37	5
Cloruro de hierro (III)	0	0
Hidróxido de calcio	15	2
Cloruro de sodio / carbonato de calcio	600	86
Hidróxido de sodio/cloruro de calcio/ sulfato de sodio decahidratado	6,3	0,9
Sulfato de cobre(ii) pentahidratado	75	11
Hidróxido de magnesio	100	14
Carbonato de calcio	100	14
Sulfato de zinc	80	11
Hidróxido de aluminio	90	13
Sulfato tetraamino de cobre(II)	40	6
Cloruro de sodio	60	9
Cloruro de magnesio	520	74
Cloruro de hierro (III)	90	13
Cloruro de manganeso (II)	45	6
Ión Magnesio / carbonato	30	4
Totales de residuos desechados	2061	164

Gráfico 4. Contribución porcentual por volumen de los desechos vertidos al drenaje

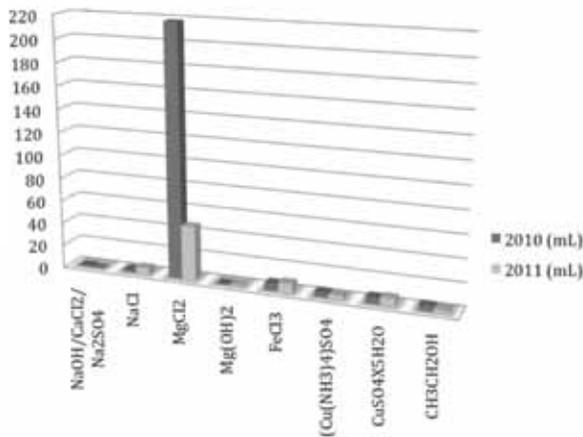


Se observa en el cuadro 2 un predominio de sales inorgánicas y álcalis en los residuos. No hay presencia de metales pesados debido al cambio generado en las prácticas de laboratorio que han sido diseñadas y puestas en práctica en el grupo piloto.

Es importante resaltar que las sustancias depositadas en el drenaje a lo largo de todo el I Ciclo 2011, son sustancias de poco impacto al ambiente. En el gráfico siguiente se indica el tipo de sustancia y la contribución porcentual de cada una:

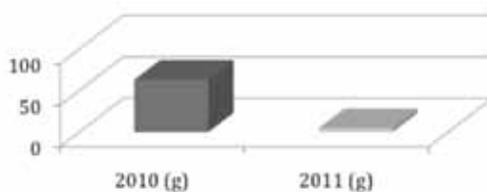
El concepto de Química Sustentable involucra la cuantificación de reactivos y desechos con el fin de valorar el nivel de impacto que causan las actividades que se realizan en el ambiente. Esta cantidad de sustancias emanadas al ambiente puede ser modificada si se realizan acciones que procuren la minimización en el uso de reactivos, el descartar el uso de reactivos de alta toxicidad así como el tratamiento adecuado cuando se requiere. El siguiente cuadro compara el volumen de residuos líquidos generados en un curso de laboratorio de Química General I, que utilizó las prácticas convencionales y un grupo del mismo laboratorio que empleó prácticas modificadas.

Gráfico 5. Comparación de volumen de residuos generados en un laboratorio convencional y un grupo piloto



De igual manera, en la siguiente gráfica se puede observar la disminución significativa en las cantidades de ácido acetilsalicílico que se generó a partir de la puesta en marcha de los cambios orientados hacia los principios de la Química Verde.

Gráfico 6. Comparación de masas de ácido acetilsalicílico en un laboratorio convencional y un grupo piloto



CONCLUSIONES

Es necesario promover un cambio en los laboratorios de docencia en la Escuela de Química para que sin perder la calidad académica, se utilicen reactivos que generen residuos menos impactantes al ambiente.

La información que se presenta en esta investigación brinda herramientas para la toma de decisiones para la gestión de los

reactivos y residuos y el diseño de protocolos para el tratamiento.

Las acciones realizadas han permitido la minimización significativa en el uso de reactivos, la sustitución de sustancias químicas por otras que generan menor impacto al ambiente y el almacenamiento adecuado para posterior tratamiento de los desechos que se generan de manera que se envíe por el drenaje solamente aquellas sustancias que causen el mínimo efecto al ambiente.

En el grupo piloto se ha creado una conciencia sobre el cambio de actitud que se debe tener como corresponsable de los daños que se pueden producir al ambiente y a los seres vivos que dependen. Esto se fundamenta en el conocimiento de las características y peligros que encierra cada una de las sustancias utilizadas, así como en la ejecución pertinente de medidas de recolección y tratamiento. La metodología seguida por el grupo de investigadores en este proyecto es el producto del análisis y la reflexión permanente para cada una de las actividades que se han desarrollado. Por las características particulares de las prácticas de laboratorio que se utilizan, no existen estrategias establecidas para la atención de los desechos sino que es en el seno del grupo investigador que se tienen que consolidar cada una de las acciones.

BIBLIOGRAFÍA

- Arias, R. (1996). Principales Sistemas de Identificación de Materiales Peligrosos CIESS: Material no publicado.
- Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica. (2010). Ley para la Gestión Integral de Residuos. La Gaceta.
- Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica. (1998). Reglamento de Registro y Control de Productos Peligrosos. La Gaceta
- Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica. (1999). Reglamento de Registro de Productos Peligrosos. La Gaceta.
- Espinoza, L. Murillo, Y., WO Ching, E. (1995). Régimen Jurídico de los Materiales Peligrosos en Costa Rica. San José: Comisión Nacional de Emergencias.
- Furr, A.K. CRC (1991) Handbook of Laboratory Safety. 3a ed, CRC Press Inc., Florida .
- Fuson, R., Morrill, T., Shirner, R., Curtin, D. (1980). The Systematic Identificación of Organic Compounds. 6a. ed. New York: Wiley & Sons.
- González Murillo, A.H., Mora Aparicio, C., Rodríguez Corrales, J.A. y Solís Ocampo, C. (2011). Uniciencia. En revisión.
- Instituto de Ciencias de Materiales de Aragón. Química Verde. www.unizar.es/icma/divulgacion/quimica%20verde.html. Accesado el 30 de setiembre, 2011.
- Lefèvre, M. Conllevar, S. (1989). First Aid Manual for Chemical Accidents. 2a. ed. New York: Van Nostrand Reinhold.
- León, F. Experiencias en la implementación de las técnicas de química verde
- Abstract. (o química sustentable) www.cneq.unam.mx/cursos_diplomados/cursos/antiores/medio_superior/dgapa_tere/material/03_quim_sutenta/QUÍMICA%20SUSTENTABLE%202008-2009.pdf accesado el 30 de setiembre, 2011.
- Mora, J. (2007). Información para el manejo adecuado de reactivos químicos en los laboratorios. Material no publicado.
- Naciones Unidas, (2007). Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos (SGA). Segunda Edición revisada. Naciones Unidas, Nueva York y Ginebra. www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/danger/publi/ghs/ghs_rev02/Spanish/00-intro-sp.pdf. Accesado el 30 de setiembre, 2011.
- Universidad Nacional. (2003). Políticas ambientales de la UNA. UNA-Gaceta 7-2003. Heredia, Costa Rica.
- Verschuren P. y Doorewaard H. (1999). Designing a Research Project. 2 ed. The Netherlands: LEMMA.