

¿Pueden ser verdes los experimentos para la enseñanza de la química? Ejemplos de su evaluación en artículos científicos

Can be green the experiments for chemistry teaching? Examples of their
evaluation in scientific papers

Franco, Ricardo. A., Neira, Marcela y Sánchez Morales, Valentina
Semillero de Investigación Educación en Química Verde, Energías Alternativas y Sustentabilidad Ambiental –
EDUQUVERSA. Universidad Pedagógica Nacional. Bogotá, Colombia.
eduqversa@gmail.com , rfranco@pedagogica.edu.co

Línea temática: Metodologías de investigación en la didáctica de las ciencias naturales

Modalidad: 2

RESUMEN

En este documento se presentan los resultados preliminares de un proyecto de investigación exploratoria de carácter documental, orientado a la evaluación verde de Trabajos Prácticos de Laboratorio - TPL, que han sido implementados en la enseñanza de la química y publicados a manera de artículos científicos en revistas especializadas en didáctica de las ciencias experimentales. Se aplican técnicas de análisis documental y la propuesta de evaluación verde denominada: “¿qué tan verde es un experimento?”.

Se concluye que, al aplicar dicha evaluación, los protocolos experimentales analizados presentan un acercamiento ligeramente verde. De igual manera, es posible afianzar el conocimiento acerca de los TPL en la enseñanza de la química, así como de la vinculación del enfoque de química verde en la didáctica de esta disciplina.

Palabras clave: química verde, trabajos prácticos de laboratorio, didáctica de la química, estudio documental.

Abstract

This document presents the preliminary results of a documentary exploratory research project, focused on the green evaluation of the practical laboratory works that has been implemented in the teaching of chemistry and published as scientific articles in journals specialized in teaching of experimental sciences. Documentary analysis techniques and the green evaluation proposal, of “how green an experiment is”? are applied.

It is concluded that, when applying this evaluation, the experimental protocols analyzed have a slightly green approach. In the same way, it is possible to strengthen the knowledge about the TPL in the teaching of chemistry, as well as the linking of the green chemistry approach in the teaching of this discipline.

Key words: green chemistry, practical laboratory work, chemistry teaching, documentary study

Objetivos:

Analizar experimentos propuestos para la enseñanza de la química, publicados en revistas de didáctica de las ciencias, desde la propuesta “¿Qué tan verde es un experimento?”.

Vincular el enfoque de química verde en la formulación de nuevas estrategias para el desarrollo de TPL en la enseñanza de la química.

Marco Teórico

Los Trabajos Prácticos de Laboratorio en la Enseñanza de la Química

Se entiende a los TLP, como recursos o estrategias para estimular y desarrollar las competencias científicas, a la vez que ayudan a ejemplificar a pequeña escala los fenómenos ocurridos en la cotidianidad, relacionándolos así con los conceptos científicos.

De igual manera, son una gran herramienta didáctica en el campo de la enseñanza de la química para dar respuesta a diversas hipótesis en la investigación; no requieren un método específico o rígido para su elaboración, por lo que día a día ganan un lugar privilegiado en la investigación didáctica. Así, el trabajo con los TPL ha aumentado ampliamente en el ámbito de la investigación en didáctica de las ciencias experimentales (Franco, Velazco y Riveros, 2017)

El enfoque de química verde en la enseñanza de la química

La química verde se entiende como el desarrollo de metodologías que permiten modificar la naturaleza intrínseca de los productos o procesos químicos, con la

finalidad de reducir o eliminar las consecuencias adversas o los riesgos que pueden impactar tanto en el medio ambiente como en la salud humana.

Por otro lado, el enfoque plantea la innovación en la química con beneficios económicos y ambientales, fomentando la interdisciplinariedad, pues incorpora aspectos de ingeniería, biología, economía y ética, entre otros, presentándose como un campo científico que propende por un desarrollo significativo del aprendizaje científico (Anastas & Warner, 1998).

En el ámbito de la educación científica, se propone que dicho enfoque sea orientado de modo general para toda la ciudadanía, en escenarios concretos y cercanos como el escolar y el familiar, contribuyendo así con la formación de sociedades más sustentables (Franco, Ordóñez y Roza, 2016)

Evaluación verde de experimentos en química

De acuerdo con lo anterior, el enfoque de química verde aporta en la transformación del pensamiento acerca de la química, lo que se materializa de su didáctica. Así, se hace necesario que las prácticas, experimentos y proyectos que se

desarrollan en los laboratorios de docencia (escolar y universitaria) tengan un acercamiento cada vez más verde. Al respecto, Morales, Martínez, Reyes-Sánchez, Osneski, Hernández, Arroy, Obaya, Ruvalcaba (2011) plantean la propuesta: ¿Qué tan verde es un experimento?

En dicho marco, el análisis se efectúa en relación al cumplimiento de los principios de la química verde. La herramienta metodológica que se propone es mixta: cualitativa, mediante un código de color (figura 1) y semicuantitativa, a través del uso de una escala numérica tipo Likert (1–10), evaluaciones que se ha considerado adecuado indicar entre paréntesis. La herramienta de evaluación incluye el código de colores y la escala tipo Likert que va de totalmente café (1) a totalmente verde (10), y que de manera ponderal indica cuál es el grado de acercamiento al protocolo de la química verde, como puede observarse en la figura 1.

Figura 1. Código de color para evaluar un acercamiento verde: 10, completamente verde, 1 totalmente café.

Totalmente café	1
Muy café	2
Medianamente café	3
Ligeramente café	4
Transición café a verde	5
Ligero acercamiento verde	6
Buen acercamiento verde	7
Muy buen acercamiento verde	8
Gran acercamiento verde	9
Totalmente verde	10

Adaptado de: Morales et., al 2011 ¿Qué tan verde es un experimento?

Tabla 1. Los doce principios de la Química Verde

1	Prevención	No dejar residuos para tratar o limpiar.
---	------------	--

2	Economía atómica	El producto final contenga la proporción máxima de los materiales de partida.
3	Síntesis Química menos peligrosas	Utilizar y generar sustancias con poca o ninguna toxicidad para los seres humanos o el medio ambiente.
4	Diseño de químicos seguros	Que sean plenamente eficaces y que tienen poca o ninguna toxicidad.
5	Disolventes seguros	Evitar el uso de disolventes, agentes de separación, u otros productos químicos auxiliares.
6	Eficiencia Energética	Ejecutar las reacciones químicas a temperatura y presión ambiente siempre que sea posible.
7	Fuentes renovables	Utilizar materiales de partida que son renovables y no agotables
8	Evitar derivados	La formación innecesaria de derivados debe ser evitada en cuanto sea posible.
9	Catalizadores	Más selectos de preferencia origen natural.
10	Biodegradabilidad	Sustancias que después de su uso no se acumulen en el medio ambiente.
11	Análisis en tiempo real	Incluir en el proceso, monitoreo en tiempo real y control durante la síntesis para minimizar o eliminar la formación de subproductos.
12	Prevención de accidentes	Diseño para minimizar el potencial de accidentes químicos, incluyendo explosiones, incendios y emisiones al medio ambiente.

Adaptado de: Morales et., al 2011 ¿Qué tan verde es un experimento?

Se propone elaborar el diagrama de flujo de la sección o método experimental incluyendo pictogramas de los reactivos y disolventes, mostrando qué principio de la química verde se está evaluando, qué tan verde o café es su aplicación o incidencia en la escala del 1 al 10 conforme a la figura 1, y para otorgar una calificación se debe tomar en cuenta la participación de lo que se está analizando en la reacción y cuál es el daño y/o riesgo que esto representa para el ambiente.

Finalmente se recomienda para realizar la evaluación verde una serie de pasos metodológicos, para llevar un orden jerárquico y generar una comprensión profunda de los principios de la química verde, para así aplicarlos de forma analítica y acorde a esta metodología de trabajo.

Para realizar un adecuado trabajo se recomienda seguir la secuencia de pasos establecida en el documento “¿qué tan verde es un experimento?” Leer y comprender adecuadamente el artículo, citar, elaborar un resumen en el contexto verde, plantear o dibujar la reacción general, construir el diagrama de flujo, asignando a cada etapa una letra en minúscula y orden alfabético consecutivo, a cada etapa asignarle el número que indique el principio que se abarca y evaluar mediante el código de color el grado de acercamiento verde, colocar los pictogramas correspondientes, mostrar en orden cada uno de los pasos, justificando el por qué de los 12 principios propuestos en el diagrama de flujo. De igual modo, es importante realizar la suma correspondiente y explicar por qué se considera que se cumplieron o no determinados principios, y finalmente realizar el diagrama de flujo junto con la asignación numérica y de color

la cual se determina mediante la sumatoria de las evaluaciones realizadas, insertando también los pictogramas y alertas de seguridad.

METODOLOGÍA: Este estudio se realizó a partir de la clasificación aportada por Franco, Velazco y Riveros (2017), quienes caracterizan 38 artículos sobre trabajos prácticos de laboratorio - TPL en la enseñanza de las ciencias experimentales, publicados en reconocidas revistas de investigación en didáctica de las ciencias experimentales. De estos, se seleccionaron los siguientes artículos:

Revista	Título del artículo	Autores
Alambique	Una práctica de laboratorio sobre corrosión de metales para secundaria	Antonio Joaquín Franco Mariscal
	Análisis básico de azúcares en alimentos. Una reacción de Fehling recreativa	José Pedro López - Raquel Boronat
Eureka	Experimentos químicos de bajo costo: un aporte desde la microescala: Evaluación Conductividad eléctrica: ¿el agua conduce la electricidad?	Alexis González y Carlos Urzúa

A partir de dicha selección, se reconstruyeron los diagramas de flujo y se realizó la “evaluación verde” de cada uno, con base en la propuesta de Morales et., al (2011). Para esta evaluación, el referente metodológico se plantea desde la propuesta de ¿Qué tan verde es un experimento?, analizando de forma crítica el desarrollo de diferentes TPL. Como etapa inicial de la evaluación se incorporan procesos de

análisis, planteamiento de diagramas de flujo experimentales y su respectivo código de color para los TPL seleccionados.

Resultados

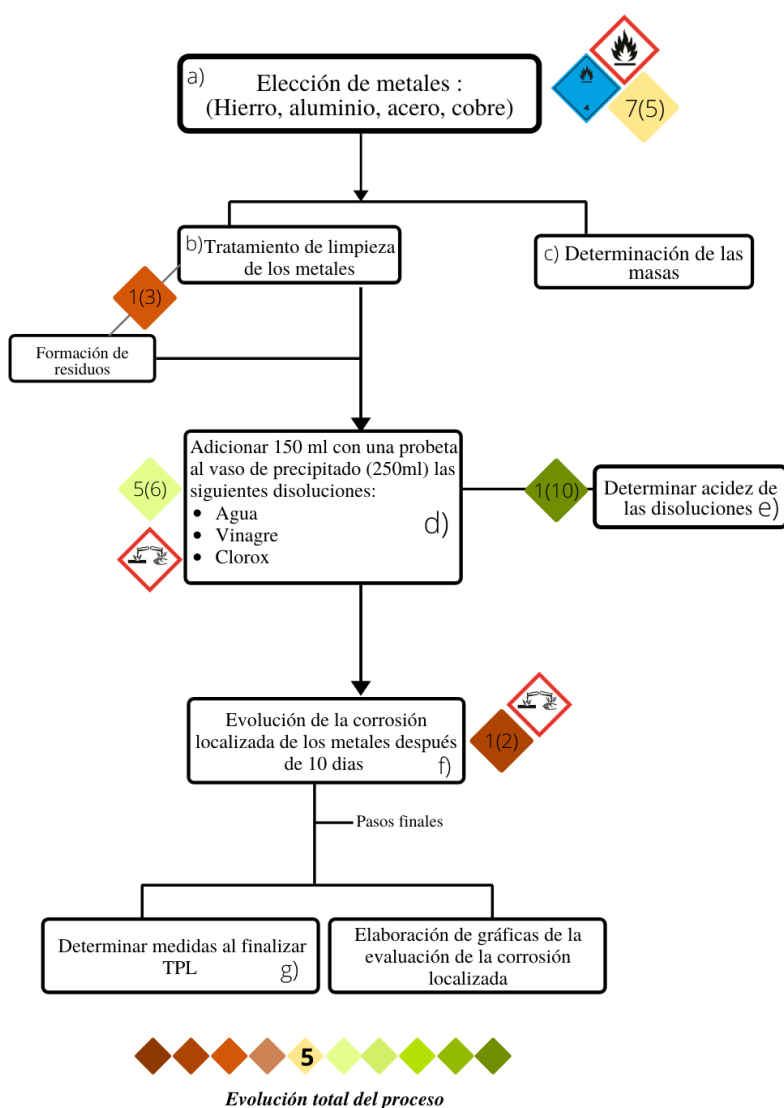
1. Una práctica de laboratorio sobre corrosión de metales para secundaria

Resumen en el contexto didáctico y verde: Este es un TPL para la identificación de los posibles casos de corrosión que se efectúan en los metales cuando entran en contacto con diferentes disoluciones. Evaluación del acercamiento verde del proceso: Siguiendo los pasos, conforme al diagrama de flujo (figura 1), se presenta a continuación la evaluación del proceso en la tabla 1.

Tabla 1: Evaluación verde

Paso a	Selección láminas o barras de metales permitiendo evaluar el principio 7 como transición café a verde (5) dado que la materia prima debe ser preferiblemente renovable.
Paso b	Limpiar los metales antes de realizar el experimento con una lija de papel y detergente hace pertinente calificar este paso respecto al principio 1 como ligero acercamiento verde (6)
Paso c	Determina la masa inicial de los metales, considerando esta actividad no aplicable a ninguno de los principios
Paso d	Para la adición de los diferentes disolventes se considera que el agua es un disolvente por excelencia totalmente verde (Anastas y Warner, 1998) y los otros dos no lograr el un buen verdor, es por eso que se examina un ligero acercamiento verde (6) con respecto al principio 5
Paso e	Para este paso lo único que se realiza es la medición del pH con el papel indicador y es evaluado con el principio 1 y un resultado totalmente verde (10)
Paso f	El seguimiento de la reacción de los metales con los diferentes disolventes se lleva a cabo en un tiempo de 10 días aproximadamente y se analiza las picaduras en la superficie de los metales lo que era indicativo de corrosión localizada aumentando en la formación de óxido de hierro generando residuos, por lo que este paso es adecuado para ser evaluado con el principio 1 dando una tonalidad muy café (2)
Paso g	Determinar las medidas al final del experimento, con el fin de conocer nuevas masas de los metales y su corrosión uniforme.

Figura 1-Diagrama de flujo



Paso h	Elaboración de gráficas de la evaluación de la corrosión localizada para conocer el tiempo en el cual la corrosión comienza a ser evidente en los metales.	
---------------	--	--

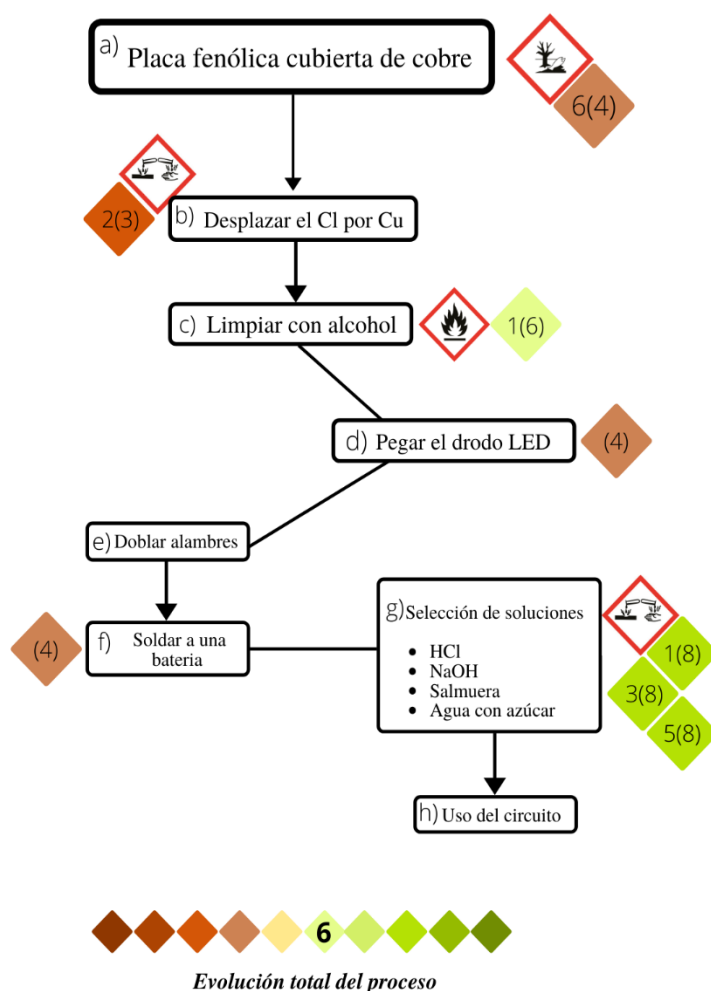
2. Experimentos químicos de bajo costo: un aporte desde la microescala. Evaluación Conductividad eléctrica: ¿el agua conduce la electricidad?

Resumen de contexto didáctico y verde: En ocasiones los TPL pueden verse limitados por la carencia de materiales, de instrumentos, por el costo de los reactivos y los riesgos que conlleva una deficiente manipulación, entre otros factores. Como una forma de favorecer la implementación de actividades experimentales en la enseñanza de la química y ayudar a disminuir algunos de los factores que las limitan. El artículo muestra una alternativa con implementos de la cotidianidad y de fácil acceso, para su comprensión.

Tabla 2: Evaluación Conductividad eléctrica: ¿el agua conduce la electricidad?

Paso a	Construir conductímetro se requiere una placa Fenólica cubierta de cobre, en donde se realiza un trazado con un plumón de 10 cm x 5 cm, se evidencia el principio 6 ya que es una eficiencia energética no se requiere de recursos para su activación y posee un color (4) con un aspecto ligeramente café.
Paso b	Introducir la placa en $FeCl_3$ dejar reposar, es el principio 2 puesto que el producto final de la reacción contiene el máximo de los materiales de partida, y color (3) ya que el $FeCl_3$ es corrosivo.
Paso c	limpiar la placa con alcohol excepto la parte dibujada con el plumón: principio 1 ya que se disuelve fácil en agua y es más sencillo limpiarlo, color (6) ya que este proceso tiene un acercamiento ligeramente verde.
Paso d	Soldar o pegar el diodo LED en la placa, requiere un alto gasto energético así que el color asignado es el (4)
Paso e	Doblar los alambres de cobre formando un ángulo recto.
Paso f	Soldar a una batería.
Paso g	Seleccionar soluciones en pequeñas cantidades tales como: HCl, NaOH, salmuera, agua con azúcar, parafina, en bajas concentraciones, principios 1 ya que la mayoría son fáciles de disolver en agua, además de ser fáciles para recolectarlos, principio 3, la salmuera y el agua con el azúcar tiene baja toxicidad, 5 los disolventes son seguros.
Paso h	Uso de circuito, si el LED enciende al sumergir los alambres en las soluciones, se comprueba la conductividad de agua o no.

Figura 2-Diagrama de flujo



3. Análisis básico de azúcares en alimentos. Una reacción de Fehling recreativa.

Resumen del contexto didáctico y verde: este Trabajo Práctico de Laboratorio permite aproximar a estudiantes de educación secundaria al concepto de carbohidratos en general y de los polisacáridos en particular, a partir de la identificación de grupos funcionales del tipo aldohexosas y cetohehexosas. La forma en la que está planteado el ejercicio de retroalimentación por parte del profesor, así como los cambios de coloración que a nivel macroscópico se presentan, hacen posible una mejor apropiación de los conceptos químicos objeto de estudio. La baja toxicidad de los reactivos químicos y las cantidades a emplear, así como las indicaciones de seguridad y los pasos a seguir, hacen de este protocolo un TPL con un buen acercamiento verde.

Tabla 3: Evaluación Una reacción de en el diagrama de flujo Fehling recreativa:

Paso a	Preparación del reactivo Fehling A: en un Beaker, disolver 7 g de CuSO_4 en 100 mL de H_2O potable, con agitación constante. Principios 3 y 5. Acercamiento verde (8)
Paso b	Preparación del reactivo Fehling B: en un Beaker, disolver 12 g de NaOH en 100 mL de H_2O potable, con agitación constante. Principios 3 y 5. Acercamiento verde (8).
Paso c	Preparación de las tres soluciones de interés. Solución 1: 5 mL de glucosa al 1 %. Solución 2: 5 mL de refresco azucarado. Solución 3: 5 mL de refresco edulcorado. Disponer cada una de estas soluciones en su respectivo tubo de ensayo. Principio 4. Acercamiento verde (10).
Paso d	Adicionar a cada tubo de ensayo 1 ml de solución de Fehling A y 1 ml de solución de Fehling B. Observar y registrar los cambios. Calentar los tres tubos de ensayo en baño maría. Observar y registrar los cambios. 3 y 5. Acercamiento verde (8).

Figura 3. Evaluación verde



Conclusiones

Con el trabajo elaborado desde el Semillero de Investigación EDUQVERSA, se fomentó el desarrollo de habilidades investigativas, ya que construyen adecuadamente rutas metodológicas para afianzar los conocimientos en química y específicos sobre el enfoque de química verde, explorando mostrando nuevos recursos para su apropiación. Es evidente el

aporte que genera el análisis y la revisión documental realizados, haciendo posible transformar algunas prácticas tradicionales de experimentación en la enseñanza de la química, por otras que presenten aproximaciones verdes disminuyendo así su costo energético y económico.

Buena parte de las innovaciones en didáctica de la química que vinculan el trabajo práctico de laboratorio como recurso didáctico, se sistematizan y se publican en artículos científicos de revistas especializadas en este campo. Con este ejercicio de “evaluaciones verdes” a tres producciones tipo, se ha ejemplificado cómo el uso de los experimentos en la enseñanza de la química puede potenciarse vinculando la perspectiva de la química verde, atendiendo así a las múltiples urgencias y necesidades que hoy las ciudadanías demandan de la escuela hacia la consolidación de sociedades sustentables.

Bibliografía

Franco, R.; Velasco, M. y Riveros, C. (2017). Los trabajos prácticos de laboratorio en la enseñanza de las ciencias: tendencias en revistas especializadas: 2012-2016. *Revista de la Facultad de Ciencia y Tecnología-Tecné, Episteme y Didaxis*, ted, 41, 37-56.

Franco, R. (2011). Competencias científicas y resolución de problemas en el IPN: una experiencia de aula. *Boletín PPPQ*, 48, 26-33.

Anastas, P. T., & Warner, J. C. (1998) *Green Chemistry: theory and practice*. New York: Oxford University Press.

Marina L. Morales Galicia,¹ Joel O. Martínez, Laura Bertha Reyes-Sánchez, Hernández, O., Razo, G., Valdivia, A y Ruvalcaba, R. (2011). ¿Qué tan verde es un experimento? *Educación Química*. 22(3), 240-248.

González A, Urzúa, C. (2012). Experimentos químicos de bajo costo: un aporte desde la microescala, *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*. 9 (3), 401-409.

Franco, A. (2012). Una práctica de laboratorio sobre corrosión de metales para secundaria. *Alambique*, 70, 98-108.

López, P. (2016). Análisis básico de azúcares en alimentos. Una reacción de Fehling recreativa. *Alambique* 83, 64-68.

Franco. R., Ordoñez. L y Rozo, N. (2016). La química verde: un área emergente en la investigación didáctica, *Revista Escenarios*, 18, 28-33.