


ARTÍCULO No 4

**Uso de un laboratorio remoto
como recurso para la disminución
del impacto ambiental de la
actividad experimental en
asignaturas de química en
educación superior**

4

Uso de un laboratorio remoto como recurso para la disminución del impacto ambiental de la actividad experimental en asignaturas de química en educación superior

Investigador: Eric Montero-Miranda¹
Universidad Estatal a Distancia
Laboratorio de Experimentación Remota
San José, Costa Rica.

 [ORCID: 0000-0003-1180-5800](https://orcid.org/0000-0003-1180-5800)

Resumen

Este trabajo muestra algunos de los resultados de una tesis de postgrado en Gestión Ambiental y Desarrollo Local en el ICAP de Costa Rica, sobre el análisis del beneficio ambiental generado por la utilización del Laboratorio Remoto de Valoración Ácido-Base como un complemento a la actividad experimental presencial en los cursos de laboratorio del área de Química de la Universidad Estatal a Distancia. La metodología incluyó un diseño no experimental transversal donde se aplicó una matriz de valoración de impactos ambientales que fue completada por seis expertos, tres para el laboratorio presencial y tres en el laboratorio remoto. Este instrumento se basó en los procesos de preparación previa del laboratorio, transporte de productos químicos, desarrollo de la actividad y generación de residuos. Los resultados mostraron que, en contraste con la actividad experimental presencial, la actividad mediada por el Laboratorio Remoto presenta una significancia de impacto ambiental bajo. En conclusión, se logró estimar que en el caso particular de la actividad experimental presencial el impacto sobre el ambiente posee una significancia media, siendo la propia ejecución de esta experiencia y la generación de los residuos, los procesos que ocasionan un mayor impacto. Finalmente, el Laboratorio Remoto posee una significancia del impacto baja en todos los aspectos evaluados.

Palabras claves: LABORATORIO REMOTO, DETERIORO AMBIENTAL, MÉTODO EXPERIMENTAL, ANÁLISIS DE IMPACTO, VALORACIÓN ÁCIDO-BASE

¹ Es licenciado en Química Industrial (UNA) y Máster en gestión ambiental y desarrollo local (ICAP). Es Regente Químico Institucional y consultor externo en temas de gestión y administración del riesgo químico. Ha formado a más de 50 profesionales en la rama. Se ha formado en esta especialidad en el Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST) de España y la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (UNECE). Es desarrollador e investigador adjunto en el Laboratorio de Experimentación Remota de la Universidad Estatal a Distancia en Costa Rica, e Investigador en proyectos internacionales en la Organización de Estados Americanos (OEA). Además de participar como profesor asistente en cursos en la modalidad Massive Open Online Course (MOOC) y para el Consejo Superior Universitario Centroamericano (CSUCA). Es colaborador externo del Centro de Investigación y Apoyo a la Educación Científica de la Universidad de Buenos Aires y profesor asistente en cursos de actualización y perfeccionamiento en el área de laboratorios remotos para la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la Universidad de Buenos Aires. Correo: emonterom@uned.ac.cr

Montero, E. (2024). Uso de un laboratorio remoto como recurso para la disminución del impacto ambiental de la actividad experimental en asignaturas de química en educación superior. *Revista Centroamericana de Administración Pública*, (86), 65-77. DOI: 10.35485/rcap86_4

Use of a remote laboratory as a resource for reducing the environmental impact of experimental activity in chemistry courses in higher education

Abstract

This study presents some of the outcomes of a postgraduate thesis in Environmental Management and Local Development at ICAP in Costa Rica, focusing on the analysis of the environmental benefits derived from using the Acid-Base Remote Assessment Laboratory as a supplement to face-to-face experimental activities in the chemistry laboratory courses at the Universidad Estatal a Distancia. The methodology encompassed a non-experimental, cross-sectional design wherein an environmental impact assessment matrix was employed, completed by six experts—three for the on-site laboratory and three for the Remote Laboratory. This tool was predicated on the processes of laboratory preparation, chemical transportation, activity development, and waste generation. The findings indicated that, in contrast to the face-to-face experimental activity, the activity facilitated by the Remote Laboratory exhibits a low environmental impact significance. In conclusion, it was estimated that in the specific case of the face-to-face experimental activity, the impact on the environment has a medium significance, with the actual execution of this experiment and the generation of waste being the processes that cause the greatest impact. Lastly, the Remote Laboratory demonstrates a low impact significance across all evaluated aspects.

Keywords: REMOTE LABORATORY, ENVIRONMENTAL DEGRADATION, EXPERIMENTAL METHOD, IMPACT ANALYSIS, ACID-BASE TITRATION

Recibido: 30 de abril de 2024
Aceptado: 13 de junio de 2024
DOI: 10.35485/rcap86_4

Introducción

La Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) supone uno de los métodos jurídico-administrativo con la intención de recolectar información (Fernández-García, 2012) que permita identificar y valorar las posibles afectaciones que generan un proyecto o actividad específica sobre el ambiente (Mora-Barrantes, Molina-León y Sibaja-Brenes, 2016). Si bien, la mayoría de las ocasiones se relaciona la EIA con un proceso inmerso en la prefactibilidad de un proyecto, esta no se limita solo a este tipo de actividades, sino que puede ser extendido a actividades ya operativas, por lo que las organizaciones sientan responsabilidades y estiman la relación entre las actividades que desarrollan y la afectación que se puede dar sobre el ambiente, con el fin de mantener un control sobre las primeras (Jaramillo, 2014).

Los impactos se tratan de cambios o alteraciones en el ambiente o en alguno de sus componentes con algún grado de magnitud y complejidad que se da producto de la acción humana a raíz de las actividades que desarrolla. (Cruz, Gallego y González, 2009). Las distintas actividades generan impactos directos sobre el ambiente, impactos indirectos (o impactos secundarios) a menudo producidos fuera de una acción compleja o como resultado de esta, pueden existir impactos acumulativos que resultan de cambios incrementales causados por otras acciones pasadas, presentes o razonablemente previsibles junto con la actividad. También puede existir una interacción entre los impactos de una misma actividad (Walker y Johnston, 1999).

Para el abordaje de este estudio se asume la EIA, en particular dentro de la actividad educativa desarrollada en la Universidad Estatal a Distancia (UNED), específicamente, el componente experimental en los laboratorios de docencia en Ciencias Naturales al ejecutar los procedimientos solicitados para el experimento de Valoración Ácido-Base y, la segunda, con el despliegue del Laboratorio Remoto (LR), para la misma práctica, donde el estudiante realiza la

experiencia a través de entornos digitales desde donde se encuentre y en el momento en que así lo desee. Por último, se estiman los beneficios que pueda representar el despliegue de los LR en la actividad experimental, al tratarse de un recurso reciente para la enseñanza de la química.

En la línea de evaluación del impacto ambiental generado por las actividades experimentales, Rossi (2018) realizó una investigación con el fin de evaluar la gestión de residuos químicos peligrosos en una universidad de Perú con el fin de establecer una línea base que permitiera generar un plan de acción enfocado en la mejora de los procesos relacionados a la gestión de residuos químicos peligrosos. La principal conclusión que obtuvo Rossi arrojó una deficiencia en los sistemas de gestión de residuos peligrosos, y que refleja una de las principales problemáticas de las instituciones que desarrollan la actividad experimental.

A nivel de Costa Rica, Sotomayor Pineda (2021), planteó una evaluación del riesgo químico mediante la aplicación de un índice de seguridad inherente de los productos químicos empleados en cursos de docencia de la Universidad Nacional. Como principal conclusión se encontraron deficiencias en el sistema de gestión de residuos, esto permitió incentivar metodologías con un enfoque de química verde generando un modelo de gestión adecuado para el caso en estudio.

Si bien, existen varios trabajos en el área de experimentación remota, estos son orientados a la investigación socioeducativa donde se mide el beneficio de estos recursos para el estudiante, y no se han documentado investigaciones que permitan analizar las cualidades ambientales del uso de estos recursos.

En este sentido, el propósito de este trabajo es analizar el beneficio ambiental generado por la utilización del Laboratorio Remoto de Valoración Ácido-Base (LR-VAB) como un complemento

a la actividad experimental presencial en los cursos de laboratorio del área de Química de la UNED.

La actividad experimental

La actividad experimental es uno de los componentes medulares de los procesos de enseñanza y aprendizaje en las carreras que comprenden las Ciencias Naturales, las Ingenierías y las Ciencias de la Salud, ya que permiten el desarrollo de capacidades cognitivas propias de cada rama científica (Idoyaga et al., 2020), que parten de procesos intelectuales y sensoriomotores. (Lorenzo, 2020). Tradicionalmente se ha desarrollado la actividad experimental de forma presencial, es decir, el estudiante siempre asistía a un espacio físico acondicionado, cumpliendo un horario (a veces limitado), donde ejecutan los procedimientos solicitados, se toman las observaciones y se elabora un reporte de laboratorio donde se explican los fenómenos. (Arguedas-Matarrita et al., 2019).

Los avances tecnológicos han permitido que la educación experimente cambios positivos hacia la mejora de los procesos de enseñanza y aprendizaje donde figuran las TIC (Arguedas-Matarrita, 2017). Dentro de estas tecnologías surge el recurso de los LR VAB que, si bien, se implementaban desde hace algunos años antes de esta emergencia sanitaria, resultaron claves en muchos contextos para poder sostener la actividad experimental que demandaban las carreras con características STEM (ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas en español) y que estuvo ausente por la falta de presencialidad.

Laboratorio Remoto de Valoración Ácido-Base

El LR-VAB es un proyecto de desarrollo en la categoría de Laboratorios Remoto Ultra-concurrente o diferido (LD) que fue creado por el equipo de investigación del Laboratorio de Experimentación Remota de la Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED) en 2020 (Idoyaga et al., 2020). El diseño de este LD se fundamentó en una de las técnicas

ampliamente empleadas en la enseñanza de la química para introducir a los estudiantes a los métodos volumétricos de análisis: la reacción de neutralización (Arguedas-Matarrita et al., 2022).

En este experimento, los usuarios deben administrar titulante por medio de un botón designado y observar las modificaciones en la solución, captadas por los sensores y presentadas en la interfaz, utilizando parámetros preseleccionados. Conforme el usuario agrega titulante al analito, se genera un gráfico en tiempo real a partir de los datos obtenidos por los sensores, lo cual mejora la comprensión de la experiencia. (Idoyaga et al., 2020)

Figura 1.

Interfaz de trabajo del LR-VAB en el espacio de trabajo de la UNED en Labsland.



Nota. Adaptado de Valoración Ácido-Base [Fotografía], por LabsLand, 2024, <https://labsland.com/es>

El impacto ambiental de la actividad experimental

Se estima que la mayoría de los laboratorios de docencia dedicados a los procesos de formación en química generan pequeñas cantidades de residuos peligrosos y ordinarios. A pesar de esto no se puede despreciar el impacto que estas sustancias pueden generar sobre el ambiente y la salud humana, dado que se evalúa el peligro teniendo en cuenta los riesgos derivados de sus propiedades intrínsecas de los componentes contenidos

en los residuos peligrosos, pero para que sean perjudiciales para la salud y el medio ambiente deben tenerse en cuenta factores tales como: relación dosis-exposición, frecuencia y duración de la exposición, y también susceptibilidad o vulnerabilidad individual del medio o persona expuesta (Arias Villamizar, 2009).

A pesar de que se tiene un criterio generalizado de que los impactos ambientales derivados de la actividad experimental se producen, en gran parte por los residuos peligrosos, se debe de contemplar otros impactos indirectos que se generan como parte de los procesos previos y posteriores al desarrollo de la actividad experimental, como, por ejemplo, las emisiones de GEI producidos durante las operaciones de transporte de sustancias químicas y el posterior retiro de los residuos.

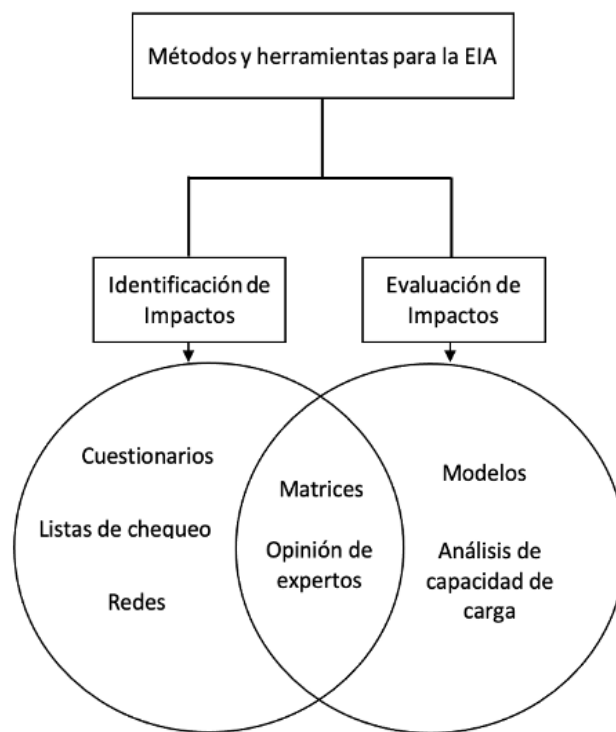
Métodos para la Evaluación del Impacto Ambiental

Maza Asquet (2007) señala que “cada situación de impacto ambiental es un hecho singular, para la cual no existe una receta que tenga aplicación universal; más bien su aplicación estará restringida al tipo de situación que se vaya a evaluar y al medio en el cual esté inserta” (p. 581). Sobre esta línea, autores como Coria (2008) enfatizan en la importancia de establecer un método adecuado para la valoración y evaluación de los impactos ambientales que se puedan derivar de alguna actividad en cuestión.

La Figura 2 establece la relación entre diferentes métodos y las capacidades de cada uno para identificar y evaluar el impacto ambiental.

Figura 2.

Métodos y herramientas para la identificación y evaluación de impactos ambientales.



Nota. Adaptado de Guidelines for the Assessment of Indirect and Cumulative Impacts as well as Impact Interactions (p.14), por Walker y Johnston, 1999, Office for Official Publications of the European Communities

El método matricial se basa en técnicas bidimensionales que relaciona las acciones de una actividad o proyecto con los factores ambientales presentes (Soto, 2019).

Diseño de Investigación

Este estudio adoptó un diseño exploratorio secuencial (DEXPLOS) con enfoque comparativo (Hernández-Sampieri, 2018), combinando métodos cuantitativos y cualitativos para examinar las percepciones de expertos y estudiantes sobre los LR-VAB tanto en modalidades presenciales como remotas. Se investigaron también los impactos ambientales asociados con cada modalidad

Recolección y Análisis de Datos

Se seleccionó un panel de expertos que comprendió una muestra de 12 profesionales que cumplieron alguna de las siguientes características:

- a) profesional en el área de química con experiencia docente en actividad experimental;
- b) profesional en química con conocimiento de la gestión de sustancias peligrosas;
- c) profesionales con conocimiento, formación en química verde o sostenible;
- d) profesionales con conocimiento en gestión ambiental y que trabaje en educación superior.

Además, se trabajó con la población de estudiantes de carreras diversas de la Escuela de Ciencias Exactas y Naturales de la UNED que cursaban las asignaturas anteriormente mencionadas durante el I cuatrimestre de 2022. La muestra para establecer los sujetos de información se definió por conveniencia (68 estudiantes). Este grupo de estudiantes completó un cuestionario que tuvo como objetivo establecer la ganancia educativa y los beneficios ambientales percibidos por estos, luego de realizar la experiencia remota del LR-VAB.

Con respecto a los cuestionarios aplicados a expertos y estudiantes (usuarios), para los datos obtenidos se estimaron las frecuencias absolutas y relativas y los estadísticos de tendencia central (media, moda y mediana), así como los valores de varianza y desviación estándar por medio del programa estadístico MINITAB en su versión 19 y las preguntas de respuesta abierta se sometieron a la técnica de análisis de contenido empleando el programa *Atlas.ti*.

Instrumentos para la recolección de datos

El cuestionario a expertos se dividió en cuatro secciones. La primera recabo datos básicos de cada participante, como el lugar de trabajo, área profesional, años de experiencia en el sector y experiencia docente en laboratorios. La segunda parte consta de cinco afirmaciones en una escala Likert, donde los 12 expertos valoraron su grado de acuerdo al impacto ambiental de las prácticas del LR-VAB según esta escala: 1: totalmente en desacuerdo, 2: parcialmente

en desacuerdo, 3: parcialmente de acuerdo, 4: totalmente de acuerdo), con respecto al posible impacto ambiental generado por los distintos procesos de la actividad experimental basado en el LR-VAB. A continuación, se muestra la codificación que se empleó para efectos prácticos de este trabajo:

Tabla 1.

Codificación empleada para el análisis de los enunciados tipo Likert para el cuestionario aplicado a expertos

| Codificación | Enunciado |
|--------------|---|
| E1 | Considero que la actividad experimental genera un impacto ambiental significativo. |
| E2 | Considero que el mayor pasivo ambiental que se genera en la actividad experimental son los residuos químicos. |
| E3 | Considero que la mayoría de los impactos generados en la actividad experimental pueden disminuirse o eliminarse con la implementación de propuestas de mejora a través de la gestión ambiental. |
| E4 | Desde mi perspectiva profesional, considero que los profesores y estudiantes son conscientes de los posibles impactos que se pueden generar al desarrollar la actividad experimental de forma presencial. |
| E5 | Considero que la mayoría de las instituciones donde se desarrolla la actividad experimental poseen la infraestructura y los medios para hacer frente a los residuos generados |

Nota. Elaboración propia

En la tercera sección del cuestionario, se presentó a los expertos una lista descriptiva de acciones específicas relacionadas con la actividad experimental de Valoración Ácido-Base. Se solicitó a los expertos evaluar la significancia del impacto ambiental de cada acción y los medios potencialmente afectados. La cuarta parte incluyó tres preguntas abiertas destinadas a obtener las percepciones de los expertos sobre los impactos ambientales resultantes de la actividad experimental.

Pregunta 1. ¿Qué alternativas se pueden plantear para disminuir el impacto ambiental generado por la actividad experimental planteada?

Pregunta 2. ¿Qué grado de significancia le puede dar a los impactos generados por la actividad experimental de Valoración Ácido-Base?

Pregunta 3. ¿Qué falencias o retos se plantean para un desarrollo seguro y adecuado, desde la perspectiva ambiental, de la actividad experimental?

Para el caso del cuestionario a estudiantes el instrumento constó de tres partes. En la primera parte, se recabaron datos generales. En la segunda parte del cuestionario se plantearon 4 enunciados tipo Likert con la pretensión de medir, el nivel de acuerdo (1: totalmente en desacuerdo, 2: parcialmente en desacuerdo, 3: parcialmente de acuerdo, 4: totalmente de acuerdo), con el grado de acuerdo de los estudiantes respecto a la conciencia e impacto ambiental que creen que podría generar el recurso de Laboratorio Remoto y el desarrollo de la experiencia de manera presencial (enunciados EE1 a EE4). A continuación, se muestran los enunciados tipo Likert:

Tabla 2.

Codificación empleada para el análisis de los enunciados tipo Likert para el cuestionario aplicado a estudiantes

| Codificación | Enunciado |
|--------------|---|
| EE1 | La actividad experimental propuesta aumenta mi conciencia sobre el ambiente respecto al uso de sustancias químicas peligrosas, al punto que me ha sensibilizado sobre los impactos ambientales que pueden surgir al realizar una actividad experimental presencial. |
| EE2 | Cuando trabajo en el laboratorio, soy consciente y comprendo que la actividad experimental genera un impacto ambiental cada vez que se realiza una práctica en el laboratorio. |
| EE3 | Conozco los riesgos implicados si una sustancia es liberada de forma accidental o intencional al ambiente. |
| EE4 | Creo que el uso de Laboratorios Remotos puede disminuir los impactos ambientales generados por la actividad experimental presencial. |

Nota. Elaboración propia

Finalmente, la tercera parte, expuso al estudiante a tres preguntas abiertas con el fin de recabar la percepción del estudiante sobre su experiencia luego de trabajar con el LR-VAB.

Pregunta 1. ¿Cómo cree usted que se favorezca o no al ambiente desde el punto de vista de repeticiones la actividad experimental, la propuesta del Laboratorio Remoto de Valoración Ácido-Base?

Pregunta 2. ¿Cómo relacionaría el estudio del tema desarrollado con el Laboratorio Remoto y la generación de una conciencia ambiental al trabajar la actividad experimental propia de su carrera?

Pregunta 3. ¿Le gustaría utilizar más Laboratorios Remotos como una actividad complementaria al componente experimental en otros cursos?

Resultados y análisis

En este segmento se exploran los resultados y discusiones derivados de los cuestionarios aplicados tanto a estudiantes como a expertos en actividad experimental. Inicialmente, se examinó la percepción de los estudiantes respecto a la experiencia presencial y remota del laboratorio de valoración ácido-base, enfocándose en el

impacto ambiental y la ganancia educativa de cada modalidad. Posteriormente, se evaluaron las respuestas de profesionales expertos en la docencia de asignaturas de laboratorio, con especial énfasis en la gestión ambiental, para identificar los aspectos ambientales críticos relacionados con esta actividad experimental educativa.

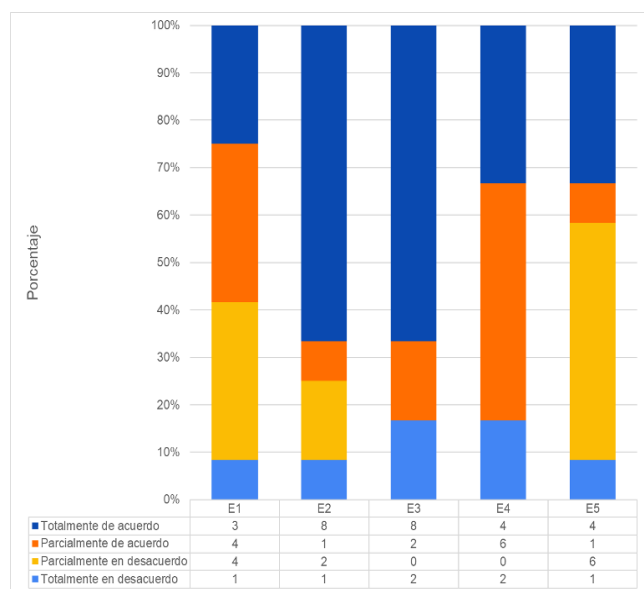
Cuestionario aplicado a expertos

La selección del perfil de los expertos fue crucial para obtener datos significativos sobre el impacto ambiental de las actividades experimentales presenciales en el laboratorio de valoración ácido-base. Los expertos, en su mayoría con grados de doctorado o maestría y más de diez años de experiencia, incluidos en la docencia de asignaturas de laboratorio, aportaron una profundidad notable al análisis. Notablemente, el 92% de ellos provienen del campo de la química, y dentro de este grupo, un 11% se especializa en gestión ambiental.

Al examinar las tendencias en las respuestas de los enunciados tipo Likert, se identificaron aspectos clave sobre el impacto ambiental de la actividad experimental propuesta (ver Figura 3).

Figura 3.

Frecuencias absolutas y los porcentajes obtenidos para cada grado de acuerdo en cada uno de los cinco enunciados estudiados



Nota. Elaboración propia

Tabla 3.

Estadísticos de tendencia central, moda y mediana, para los ocho enunciados aplicados a los expertos participantes

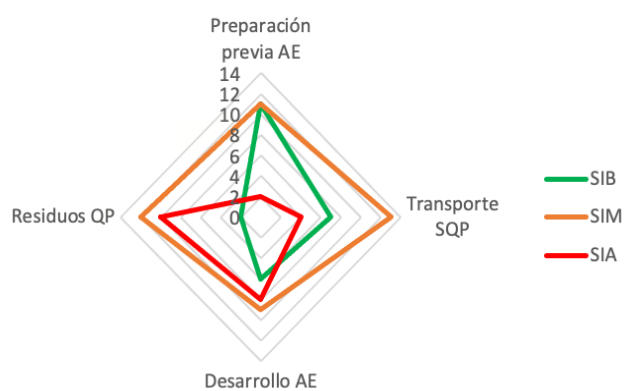
| Enunciado | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 |
|-----------|------|------|------|------|------|
| Moda | 3 | 4 | 4 | 3 | 2 |
| Mediana | 3,00 | 4,00 | 4,00 | 3,00 | 2,00 |

Nota. Los valores empleados para la valoración de los enunciados Likert fueron: 1: totalmente en desacuerdo, 2: parcialmente en desacuerdo, 3: parcialmente de acuerdo, 4: totalmente de acuerdo.

En la evaluación detallada en la tercera parte del cuestionario, se identificaron las acciones más críticas de los cuatro procesos definidos en la matriz de evaluación de impacto ambiental. Se evaluó la significancia del impacto ambiental de estas acciones durante la actividad experimental, como se ilustra en la Figura 4.

Figura 4.

Nivel de significancia de las acciones según al proceso de la actividad experimental a la que pertenece



Nota. Para el caso de las acciones, fueron seleccionadas dos de cada proceso que involucra a la actividad experimental. Los valores se refieren a las frecuencias absolutas de las respuestas dadas por los expertos en cada acción dentro de la lista de chequeo. La línea verde hace referencia a un nivel de Significancia de Impacto Bajo (SIB), la línea naranja a un Nivel de Significancia de Impacto Medio (SIM) y la línea roja a un Nivel de Significancia de Impacto Alta (SIA). Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos a partir de la encuesta.

La Figura 4 muestra que, en general, los expertos consideran que la actividad experimental presencial del laboratorio de valoración ácido-base tiene un impacto ambiental moderado en todas sus fases. Sin embargo, el 50% de los expertos cree que la fase de preparación previa podría tener el impacto más bajo, mientras que las etapas de desarrollo de la actividad y gestión de residuos al finalizar son percibidas como las de mayor impacto ambiental.

En la cuarta parte del cuestionario, se analiza la perspectiva de los expertos a través de cuatro preguntas de respuesta abierta. La primera pregunta se centró en alternativas para reducir el impacto ambiental de la actividad experimental. Las respuestas fueron organizadas en categorías de similitud usando el software Atlas.Ti y se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4.

Alternativas planteadas para la disminución del impacto ambiental generado por la actividad experimental planteada

| Alternativa planteada | Frecuencia |
|--|------------|
| Disminución de sustancias | 4 |
| Sustitución de sustancias | 2 |
| Reutilización y gestión residuos | 3 |
| Buenas prácticas de laboratorio (Química Verde) | 3 |

Nota. La tabla se diseñó a partir de las coincidencias en las respuestas brindadas por los expertos empleando el software de Atlas.Ti.

Como se muestra en la Tabla 4, las principales alternativas para reducir el impacto ambiental se centran en prácticas de gestión ambiental efectivas en la minimización de residuos. Predominan las soluciones de carácter técnico-administrativo, pero la tecnología está emergiendo como un elemento clave, facilitando procesos mejorados de control y mitigación de impactos ambientales. El uso de tecnologías fomenta el desarrollo sostenible al mejorar el

acceso a la comunicación y optimizar el uso de recursos, contribuyendo a una mejor calidad de vida (Benítez, 2012).

En relación con la significancia de los impactos generados por la actividad experimental de Valoración Ácido-Base (pregunta 2), los expertos proporcionaron argumentos detallados sobre la magnitud asignada a estos impactos. A continuación, se presentan algunas de las respuestas ofrecidas por los expertos:

Experto 9. “El impacto ambiental es medio, dado que los residuos tienen una peligrosidad ambiental media.” Que como indican los expertos 1 y 11, estos pueden ser tratados para disminuir su peligrosidad. **Experto 1.** “Media. Parte de los productos generados pueden ser neutralizados y tratados de manera simple.” **Experto 11.** “moderado, controlable con buenos protocolos de neutralización de los residuos.” A pesar de que los productos pueden ser neutralizados en otras sustancias menos tóxicas hay que tener en cuenta que los procesos anteriores al de tratamiento de residuos presenta algunos impactos importantes. Además, los procesos de neutralización requieren de otros insumos auxiliares que serán consumidos en esta operación, aumentando la posibilidad de que aparezcan nuevos impactos.

En relación con la cuarta pregunta sobre las falencias o retos para un desarrollo seguro y adecuado desde la perspectiva ambiental de la actividad experimental, se analizaron detenidamente las respuestas proporcionadas por los expertos.

Experto 1. “Esta es una práctica característica de todos los cursos de Química General y Química Analítica, por lo que es una práctica muy controlada en todos los aspectos”. A pesar de esta opinión, la práctica ha demostrado generar muchos pasivos ambientales que hasta el momento no se han podido minimizar.

Experto 2. “Mayor responsabilidad con el tratamiento de residuos. Selección de reactivos menos contaminantes para prácticas masivas”. En contraste con las respuestas brindadas en la pregunta 1, se vuelve a mencionar uno de los aspectos clave en la gestión de residuos que es la sustitución de sustancias por otras menos dañinas para el ambiente.

Experto 3. “El reto es que los estudiantes aprendan el método y las técnicas minimizando el impacto al ambiente”. Esta perspectiva plantea un desafío para las instituciones y es el buscar alternativas mediante las cuales los estudiantes puedan aprender las técnicas y conceptos clave de los métodos volumétricos al mismo tiempo que se planteen soluciones para disminuir los impactos ambientales.

Experto 4. “Mayor desarrollo de prácticas remotas”. En este caso, el Experto 4 plantea una alternativa que puede contestar el reto que se plantea en la opinión del Experto 3. Como se ha mencionado, los LR se trata de desarrollos tecnológicos que replica experiencias de laboratorio reales y su mediación se hace en entornos digitales a través de Internet (Arguedas-Matarrita, 2017), esto supone una alternativa viable para que el estudiante se apropie del conocimiento, desarrollando las capacidades cognitivas necesarias para su ejercicio profesional (Idoyaga et al, 2020), al mismo tiempo que supone un recurso que minimiza el impacto ambiental derivado de la actividad experimental al no tener un consumo excesivo y continuo de sustancias químicas (Pokoo-Aikins, Hunsu, May, 2019).

Cuestionario aplicado a estudiantes

Se estimó que este recurso aumentó la conciencia ambiental de los estudiantes al sensibilizarlos sobre los impactos ambientales propios de la actividad experimental remota al compararlo con todos los procesos que se llevan a cabo en la misma experiencia presencial (EE1). Esto se visualiza en el alto porcentaje de respuesta que están de acuerdo con el hecho de que la actividad experimental genera un

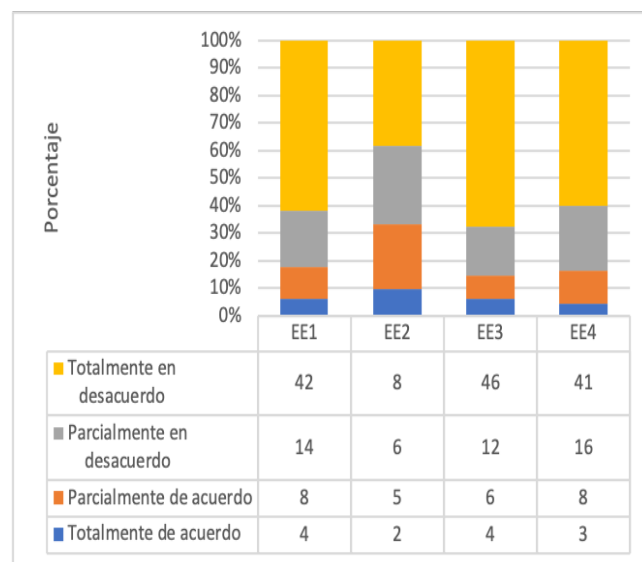
impacto ambiental (EE2) y el riesgo que conlleva el uso de productos químicos peligrosos para el desarrollo de las experiencias de laboratorio (EE3).

Por último, los estudiantes estiman que los LR pueden disminuir los impactos ambientales derivados de la actividad experimental (EE4). Este último enunciado queda más claro al analizar los resultados de las preguntas planteadas en la tercera parte del cuestionario.

Finalmente, en la cuarta parte del cuestionario se plantearon tres preguntas de respuesta abierta con el fin de recabar la percepción de los estudiantes en torno a algunos aspectos ambientales de los LR y los laboratorios en modalidad presencial.

Figura 5.

Frecuencias absolutas y los porcentajes obtenidos para cada grado de acuerdo en cada uno de los ocho enunciados estudiados



Si se analiza la estadística de tendencial que se muestra en la Tabla 5, se puede observar que los estudiantes presentan un comportamiento homogéneo hacia un grado de acuerdo en los enunciados que muestran que los estudiantes participantes del estudio tuvieron un aumento en su conciencia ambiental al desarrollar la actividad experimental, además de poder considerar que los LR son una buena alternativa

para disminuir el impacto ambiental generado por la experimentación en química.

Tabla 5.

Estadísticos de tendencia central, moda y mediana, para los ocho enunciados aplicados a los estudiantes participantes

| Enunciado | EE1 | EE2 | EE3 | EE4 | EE5 | EE6 | EE7 | EE8 |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Moda | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Mediana | 4.00 | 4.00 | 4.00 | 4.00 | 4.00 | 4.00 | 4.00 | 4.00 |

Nota. Los valores empleados para la valoración de los enunciados Likert fueron: 1: totalmente en desacuerdo, 2: parcialmente en desacuerdo, 3: parcialmente de acuerdo, 4: totalmente de acuerdo.

Las respuestas fueron agrupadas en categorías de similitud según los datos arrojados por el programa Atlas.ti. Las categorías seleccionadas se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6.

Categorización de las respuestas brindadas por los estudiantes participantes para la pregunta 1.

| Categorías | Frecuencia |
|--|------------|
| Disminución en el uso de productos químicos | 18 |
| Disminución del impacto ambiental | 17 |
| Reducción en la generación de residuos | 13 |
| Disminución de riesgo de derrames y vertido accidental | 4 |
| Disminución en los traslados | 3 |
| Adecuada estrategia de gestión ambiental | 12 |
| Disminuye la exposición a agentes químicos | 2 |
| Aumenta la seguridad química al usar LR | 8 |
| Ganancia en el proceso de aprendizaje | 10 |

Nota. La tabla se diseñó a partir de las coincidencias en las respuestas brindadas por los estudiantes empleando el software de Atlas.ti. Algunas de las respuestas de los estudiantes poseían elementos que se podían agrupar en más de una categoría lo que afecta el valor de la frecuencia con respecto a la cantidad de estudiantes que respondieron la pregunta.

Para la primera pregunta los estudiantes llegaron a la conclusión de que este recurso es capaz de disminuir el consumo de productos químicos, el impacto ambiental, los derrames y vertidos accidentales, y los residuos químicos peligrosos que está inmerso en uno de los mayores pasivos ambientales del país (Rojas-Morales, Montero-Miranda y Campos-Calderón, 2020), lo que supone una adecuada estrategia

de gestión ambiental, según acotan algunas opiniones. Parte de esto se puede observar en algunas de las respuestas brindadas.

Estudiante 1. “Al no estar usando los químicos de manera física se evita la contaminación por lo cual desarrollar esta actividad genera un impacto positivo al ambiente”.

En este comentario se puede apreciar como el estudiante determina que, si existe un impacto ambiental, pero en este caso es positivo, debido a que se disminuye el uso de productos químicos.

Estudiante 2. “Reduce la utilización de reactivos, los cuales al finalizar la práctica se desechan...”

El comentario de este estudiante evidencia que poseen conocimiento y conciencia de que la actividad experimental genera residuos y que pueden ser perjudiciales para el ambiente, lo que tiene una relación estrecha con la valoración brindada en los enunciados EE1 y EE2 de este cuestionario.

También, se mencionan aspectos de seguridad química al disminuir la exposición de los usuarios a productos químicos y aumentar la seguridad al utilizar los LR.

Estudiante 11. “...al ser todo por medios tecnológicos nos evitamos el vertido de sustancias tóxicas al cuerpo...” Los accidentes que involucran productos químicos peligrosos son muy habituales en el pa.s, superando los miles de casos al a.o. (Montero, 2019)

En respuesta a la segunda pregunta, todos los estudiantes indicaron que el uso del LR incrementó su conciencia sobre el impacto ambiental de las actividades experimentales. Destacaron la importancia de gestionar adecuadamente los productos peligrosos y los residuos. El **estudiante 22** comentó: "Pienso que

el desperdicio de sustancia es la que ocasionaría la contaminación ambiental indirecta, después de terminar cada laboratorio, las sustancias normalmente se desechan y otro grupo deben de usar otra vez las mismas sustancias". Este análisis evidencia la preocupación por el consumo masivo de productos y la generación de residuos. El **estudiante 7**, desde una perspectiva diferente, aplicó estas ideas a su experiencia en un laboratorio de biotecnología, señalando: "La carrera de agronomía es muy completa, en mi caso trabajo en un laboratorio de biotecnología en embriogénesis somática de café esto me confirma el impacto que hemos tenido con el paso de los años manipulando reactivos como bromuro que son peligrosos el hecho de realizar prácticas con estos recursos nos permite primero minimizar gastos y segundo no exponer nuestra integridad física". Estas reflexiones muestran como el LR no solo reduce costos y riesgos, sino que también fomenta una reflexión crítica sobre las prácticas habituales y su impacto a largo plazo.

Finalmente, en la última pregunta, las respuestas fueron agrupadas en categorías de similitud según los datos arrojados por el programa Atlas.Ti. Las categorías seleccionadas se presentan en la Tabla 7. En esta se detallan los motivos por los cuales les gustaría tener más LR en otras asignaturas.

Tabla 7.

Categorización de las respuestas brindadas por los estudiantes participantes para la pregunta 3.

| Categoría | Frecuencia |
|--|------------|
| Ahorro de tiempo y dinero en traslados | 7 |
| Disminución del impacto ambiental | 15 |
| Recurso educativo complementario adecuado para el proceso de aprendizaje | 21 |
| Impulsan la autonomía estudiantil en el proceso de aprendizaje | 6 |
| Flexibilidad horaria para el desarrollo de la actividad experimental | 7 |
| Facilidad en el uso y repeticiones ilimitadas | 11 |

Nota. La tabla se diseñó a partir de las coincidencias en las respuestas brindadas por los estudiantes empleando el software de Atlas.Ti. Algunas de las respuestas de los estudiantes poseían elementos que se podían agrupar en más de una categoría lo que afecta el valor de la frecuencia con respecto a la cantidad de estudiantes que respondieron la pregunta.

Se estimó el beneficio ambiental que se obtiene al utilizar estos recursos, al disminuir el uso de recursos:

Estudiante 2. "Claro que sí, es una alternativa amplia, que posee una buena opción de reducción al impacto ambiental..."

Estudiante 50. "... se evita el uso de reactivos por lo que no se contamina el ambiente, se evita el uso de agua y jabón para el lavado de los instrumentos, y se evita el riesgo de salpicaduras..."

Conclusiones

La EIA es un procedimiento que permite estimar la afectación de ciertas acciones derivadas de una actividad sobre los medios que componen el ambiente. Una adecuada implementación permitirá identificar y valorar los impactos sobre la actividad de interés. Sin embargo, es necesario establecer varios mecanismos que permitan garantizar una valoración objetiva de las acciones y procesos que generen un impacto sobre el ambiente. En este sentido, una buena opción parte de la combinación de diversos métodos que propicien un mejor análisis de los impactos.

Se ha determinado que las actividades experimentales presenciales tienen un impacto ambiental de nivel medio, principalmente debido a la ejecución directa de los experimentos en el laboratorio y la generación de residuos. Estos residuos resultan de la transformación de los reactivos en productos, que luego deben gestionarse adecuadamente. La ejecución práctica y la producción de estos residuos son los factores que más contribuyen a este impacto ambiental significativo.

Por otro lado, el LR-VAB propuesto en este estudio exhibe una significancia de nivel bajo en términos de impacto ambiental. No obstante, al realizar un análisis aislado del

proceso, se estimó que el almacenamiento de datos en la nube (servidores) es el proceso que presenta un impacto significativo.

Recomendaciones

Se sugiere establecer una metodología que permita una mejor gestión de los procesos relacionados con el desarrollo de la actividad experimental. Por ejemplo, se recomienda planificar adecuadamente los productos químicos necesarios para el trabajo de los estudiantes, evitando preparaciones excesivas que puedan resultar en residuos químicos innecesarios. Esto no solo contribuirá a evitar impactos ambientales, sino que también evitará pérdidas monetarias derivadas de la adquisición de nuevos insumos.

Es importante fomentar el desarrollo y uso de más Laboratorios Remotos (LR) como complemento de la actividad experimental. En casos excepcionales, cuando se identifique un impacto ambiental significativo, se puede considerar la sustitución de la práctica presencial por el recurso remoto. Esto permitirá reducir el impacto ambiental asociado a ciertas actividades y fomentar el uso de alternativas más sostenibles.

Referencias bibliográficas

Arias Villamizar, C.A. (Setiembre de 2009). El uso de nuevas tecnologías en los laboratorios de Química y la minimización del impacto sobre la salud y el medio ambiente. En II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos. Simposio llevado a cabo en la Red de Ingeniería en Saneamiento Ambiental, Barranquilla, Colombia.

Arguedas-Matarrita C. et al. (2022) Design and Development of an Ultra-Concurrent Laboratory for the Study of an Acid-Base Titration (ABT) at the Universidad Estatal a Distancia (UNED), Costa Rica. In: Auer M.E., Bhimavaram K.R., Yue XG. (eds) Online Engineering and Society 4.0. REV 2021. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 298. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-82529-4_13

Arguedas-Matarrita, C., Orduña, P., Mellos, L., Conejo-Villalobos, M., Concari, S., Ureña, F., Bento da Silva, J., García-Zubia, J... y da Mota Alves, J. (2019). Remote experimentation in the teaching of physics in Costa Rica: First steps. 2019 5th Experiment International Conference

(exp.at'19). Funchal (Madeira Island), Portugal, 2019, 208-212. <https://doi.org/10.1109/expat.2019.8876553>

Arguedas-Matarrita, C. (2017). Diseño y desarrollo de un Laboratorio Remoto para la enseñanza de la física en la UNED de Costa Rica [tesis doctoral inédita]. Universidad Nacional del Litoral.

Benítez, M.I. (octubre, 2012). El aporte de las TIC al desarrollo sostenible [presentación de ponencia]. Seminario, Las tecnologías de la información y de las comunicaciones (TIC) y el desarrollo sostenible en América Latina y el Caribe: experiencias e iniciativas de política, Santiago, Chile. <https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/7063/S2013435es.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Coria, I. D. (2008). El estudio de impacto ambiental: características y metodologías. Invenio, 11(20),125-135. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=87702010>

Cruz, V., Gallego, E. y González, L. (2009). Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental [tesis de licenciatura inédita]. Universidad Complutense de Madrid.

Fernández- García, R. (2012). Principales obligaciones medioambientales para la pequeña y mediana empresa. Alicante, España: Editorial Club Universitario.

Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (2022, 13 de setiembre). Calcule sus Emisiones de Gases con Efecto Invernadero. FONAFIFO. <https://www.fonafifo.go.cr/es/calculadora/>

- García-Peñalvo, F. J., Corell, A., Abella-García, V. y Grande, M. (2020). La evaluación online en la educación superior en tiempos de la covid-19. *Education in the Knowledge Society*, 21(12), 1-26. <http://dx.doi.org/10.14201/eks.23086>
- Hernández-Sampieri, R. y Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*, Ciudad de México, México: Editorial Mc Graw Hill Education.
- Idoyaga, I. J., Vargas-Badilla, L., Moya, C., Montero-Miranda, E. y Garro-Mora, A. L. (2020). El Laboratorio Remoto: una alternativa para extender la actividad experimental. *Campo Universitario*, 1(2), 4-26.
- Jaramillo, L. (2014). *Propuesta ambiental para la evaluación y manejo integral de los residuos peligrosos generados en los laboratorios de docencia de la Universidad de Gran Colombia Seccional Armenia* (tesis de maestría). Universidad de Manizales, Manizales, Colombia.
- LabsLand (2024). *Laboratorio de Valoración Ácido-Base*. LabsLand, LabsLand, Estados Unidos.
- Lorenzo, M. (2020). Revisando los trabajos prácticos experimentales en la enseñanza universitaria. *Aula Universitaria*, (21). <https://doi.org/10.14409/au.2020.21.e0004>.
- Maza Asquet, C. (2007). *Evaluación de Impactos Ambientales*. Recuperado de <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/120397>
- Montero, E. (2019). *Desarrollo de una estrategia para la gestión de sustancias químicas y de seguridad en el Laboratorio Costarricense de Metrología (LACOMET)*, San José, Costa Rica. [Tesis de licenciatura inédita]. Universidad Nacional de Costa Rica.
- Mora-Barrantes, J.C., Molina-León, O. M. y Sibaja-Brenes, J.P. (2016). Aplicación de un método para evaluar el impacto ambiental de proyectos de construcción de edificaciones universitarias. *Tecnología en Marcha*, 29(3), 132-145. <http://dx.doi.org/10.18845/tm.v29i3.2893>
- Pokoo-Aikins, G.A., Hunsu, N., y May, D. (2019). Development of a Remote Laboratory Diffusion Experiment Module for an Enhanced Laboratory Experience. En: *IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, Covington, KY, USA, 2019, 1-5. doi: 10.1109/FIE43999.2019.9028460.
- Rojas Morales, J. R., Montero-Miranda, E., y Campos-Calderón, F. (2020). El desempeño de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, COVID-19 y la Costa Rica Bicentenario. *Repertorio Científico*, 23(2), 120-150. <https://doi.org/10.22458/rc.v23i2.3213>
- Rossi, G. (2018). *Evaluación de la Gestión de Residuos Químicos generados en laboratorios del Departamento de Química* [tesis de licenciatura inédita]. Universidad Nacional de San Agustín.
- Soto, D.C. (2019). *Guía metodológica para el estudio de impactos ambientales (EslA) en proyectos agrícolas* [tesis de licenciatura inédita]. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- Sotomayor Pineda, J. M., Mora Barrantes, J. C., Afú Méndez, C., López Martínez, J. & Vallejo Salas, M. A. (2021). Evaluación del riesgo químico mediante la aplicación de un índice de seguridad inherente: un caso de estudio en cursos de docencia de química general en un centro universitario. *Revista Tecnología En Marcha*, 35(1), 100-114. <https://doi.org/10.18845/tm.v35i1.5288>
- Walker, L.J., Johnston, J. (1999). *Guidelines for the Assessment of Indirect and Cumulative Impacts as well as Impact Interactions*. Luxemburg: Office for Official Publications of the European Communities