

# Evaluación de una metodología de enseñanza-aprendizaje en Química verde

*Evaluation of a teaching-learning methodology in green chemistry*

Ana Laura Pino<sup>1</sup>

## Resumen

La actual crisis socioambiental implica un desafío donde la educación universitaria tiene un papel central. La Química Verde es una ciencia que posibilita la aplicación de estrategias pedagógicas como el enfoque sistémico, la multidisciplinariedad, el aprendizaje participativo y en valores, y el constructivismo, para apuntar a la formación de profesionales comprometidos ambientalmente. Se describe la experiencia de 10 años en este sentido, en una cátedra de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Litoral (Argentina). Se utilizó una Encuesta para evaluar la metodología utilizada, concluyendo que la misma es superadora de los modelos tradicionales de enseñanza, por integrar disciplinas, abordar la complejidad sistémicamente, educar en forma colaborativa y apostar a un modelo de enseñanza con un estudiante activo y protagonista.

**Palabras clave:** Química Verde; Sustentabilidad; Educación; Aprendizaje participativo; Multidisciplinariedad; Enfoque sistémico.

## Abstract

The present socio-environmental crisis implies a challenge where university education plays a central role. Green Chemistry is a science that enables the application of pedagogical strategies such as the systemic approach, multidisciplinarity, participatory and values-based learning, and constructivism, to aim at the formation of environmentally committed professionals. The 10 years experience in this sense, in a chair at the Faculty of Chemical Engineering of the National University of the Litoral, is described. A survey was used to evaluate the methodology used, concluding that it surpasses traditional teaching models, for integrating disciplines, addressing complexity systemically, educating collaboratively and betting on a teaching model with an active student and protagonist.

**Keywords:** Green Chemistry; Sustainability; Education; Participatory learning; Multidisciplinarity; Systemic approach.

## CÓMO CITAR:

Pino, A. L. (2024, julio-septiembre). Evaluación de una metodología de enseñanza-aprendizaje en Química verde. *Educación Química*, 35(3). <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2024.3.87434>

<sup>1</sup> Universidad Nacional del Litoral, Argentina.

## Introducción

**E**l Cambio climático es el primer problema que afecta a toda la humanidad al mismo tiempo, poniendo en riesgo, en mi opinión, nuestra supervivencia. Es el resultado de una forma de vida social disociada de la naturaleza, que desconoce sus procesos y sus ciclos, que la despoja de derechos, viéndola únicamente como fuente de recursos, olvidando que nuestra vida depende de ella. (Rivera-Hernández, 2017).

Urge un cambio de paradigma en todo nuestro estilo de vida, un replanteo ético social como civilización, y en ello la educación juega un rol fundamental. (Covas Álvarez, 2004; Altava, 2013; Kioupi, 2019; Oliveira, 2023).

La complejidad ambiental necesita ser estudiada de manera holística, desde la multiplicidad de las miradas que brindan las diferentes ciencias, reconociendo las interrelaciones que se dan en el mundo social y natural que nos rodea, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de las personas, y apuntar a la sustentabilidad a largo plazo y al Desarrollo Sustentable, en adelante DS. (Jurado, 2020; Lorenzo, 2020; Ramos Mejía, 2020).

Pensar sistémicamente al ambiente implica pensar holísticamente en un entorno. Es por ello que el *enfoque sistémico* es una metodología adecuada para caracterizar las partes que conforman un todo y sus interacciones de cualquier problemática ambiental. Proviene de la teoría de *sistemas de Capra*, entendiendo que para afrontar la complejidad es necesario comprender la dinámica de redes, donde todo está relacionado, y donde las relaciones cobran la mayor relevancia. (Capra, 2002; Pedroza, 2002; Covas Álvarez, 2004; Kioupi, 2019).

El abordaje de los subsistemas que conforman un sistema socioambiental precisa de la multidisciplina, lo cual constituye un reto para las comunidades educativas, en donde, además, la enseñanza se centra en el docente, mientras las y los estudiantes reciben en forma pasiva un cúmulo de información a procesar, con escasa o nula participación. (Pedroza, 2002; Cukierman, 2019; Jurado, 2020).

La enseñanza bajo el enfoque constructivista se concibe como un proceso a través del cual se ayuda, se apoya y se dirige al estudiante en la construcción del conocimiento, el cual toma un rol activo. Relacionar la sustentabilidad con la enseñanza y la práctica de la ciencia, requiere utilizar los recursos necesarios para integrar conocimientos, y utilizar estrategias que permitan resolver problemas ambientales complejos y así cambiar la realidad social; de esa manera un estudiante se convierte en un profesional con mayor conciencia ciudadana. (Kioupi, 2019).

En este sentido entonces, educar para la sustentabilidad (EDS) implica una visión integral, holística, sistémica del mundo, un entramado de conocimientos y competencias construidas crítica y participativamente, para lograr la inherencia de la ética en las acciones humanas, en búsqueda del bien común. (Rivera-Hernández, 2017; Kioupi, 2019; Jurado, 2020; Oliveira, 2023).

Las universidades precisan nuevas estrategias educativas. Es decir: pasar del enfoque analítico a un enfoque sistémico, de la compartmentación de las ciencias a su análisis integrado, del conductismo a un aprendizaje participativo, activo y crítico, de la educación ambiental a una EDS, ya que, para hacer diferente, primero debemos *aprender* de otro modo. (Vázquez González, 2017; Kiouri, 2019; Cukierman, 2019; Oliveira, 2023).

Paul Anastas (1998), considerado el padre de la Química Verde, en adelante QV, la definió como “*el diseño, desarrollo e implementación de productos y procesos que reducen o eliminan el uso y generación de sustancias peligrosas para la salud humana o el medio ambiente*”. (Anastas, 1998) Teniendo en cuenta que la mayoría de las decisiones se toman en el diseño, ya sea de una sustancia química, un proceso o un producto, su objetivo fundamental es evitar problemas antes de que ocurran, es decir actuar preventivamente. Desde un comienzo se ha señalado la necesidad de que la QV se incorpore en las currículas en forma inter-multi o transdisciplinaria, bajo el paradigma de la sustentabilidad. (Marques, 2018).

En Latinoamérica en general, y en Argentina en particular, son casi inexistentes los espacios de enseñanza de QV. En la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Litoral, (FIQ-UNL) se desarrolla desde el año 2013 como asignatura optativa/electiva para todas las carreras de dicha universidad. La cátedra está conformada por una sola docente, y la metodología de enseñanza-aprendizaje propuesta contempla un aprendizaje participativo, basado en el constructivismo, la multidisciplina, y la aplicación del enfoque sistémico en el análisis de las problemáticas ambientales.

En este trabajo se realizó una investigación/análisis de datos obtenidos a partir de una Encuesta dirigida a los estudiantes que cursaron la asignatura QV, con el objetivo de evaluar la metodología de enseñanza-aprendizaje aplicada en la misma.

Este estudio se fundamenta en el convencimiento de esta docente de la necesidad de la aplicación de estrategias pedagógicas acordes a las urgencias de nuestro tiempo y de la fertilidad de la QV como campo científico para colaborar en ofrecer alternativas de solución a las mismas.

## Materiales y métodos

Se realizó un estudio de tipo descriptivo-exploratorio, utilizando un Formulario de Google, para la construcción de una Encuesta como medio de recogida de información, la cual se envió vía correo electrónico a los estudiantes que cursaron la asignatura QV en el período 2013-2023, ya sea como materia optativa o electiva.

Dicha Encuesta incluyó preguntas con diferentes formatos, a responder en forma anónima. Las primeras de ellas estaban orientadas a caracterizar al público respondiente y a su visión general, y las siguientes se relacionaron a diferentes aspectos de la metodología de enseñanza aplicada en la asignatura.

En algunos casos se mostraron múltiples opciones de respuesta, y en otras se utilizó una escala de percepción basada en la escala Likert. Las categorías de respuesta utilizadas fueron: Muy de acuerdo, De acuerdo, Neutral, En desacuerdo, Muy en desacuerdo.

Una vez obtenido un número significativo de respuestas, se procedió a su procesamiento en forma gráfica y porcentual, y al posterior análisis de los resultados obtenidos.

## Asignatura Química Verde: caracterización

Química Verde es una materia optativa para las carreras de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Litoral, y electiva para las otras carreras de la UNL.

Desde el año 2013 a 2023, han cursado la asignatura más de 400 estudiantes, de 12 carreras diferentes, incluyendo alumnos de intercambio de países como China, Francia, Brasil, Colombia, Bolivia, Chile y Perú.

Durante el cursado, se desarrollan como temas principales los 12 Principios de la QV y su aplicación a los procesos productivos, dando lugar a la Ingeniería Verde y la generación de empleos verdes. Trasladar la química a la industria, analizar la influencia de la química en el *enverdecimiento* de la misma, y tener presente el futuro laboral, son tópicos importantes no sólo debido a que una gran parte de las y los alumnos están estudiando alguna Ingeniería, sino porque por definición, la incorporación del saber ambiental es fundamental en una formación completa. (Mestres, 2004; Altava, 2013; Fernandes de Goes, 2013; Machín Armas, 2017; Ramos Mejía, 2020).

Integrar la QV en todo momento con aspectos sociales, económicos, medioambientales, de ética y responsabilidades, es un principio básico indeclinable de la propuesta pedagógica de esta cátedra, fundamental para trabajar la sustentabilidad. En el mismo sentido, el enfoque sistémico forma parte intrínseca de las estrategias pedagógicas utilizadas, aunando no sólo los fenómenos químicos ocurrentes sino buscando la comprensión de la dinámica de los sistemas ambientales de los cuales la química forma parte.

La materia está estructurada en torno a clases teórico-coloquiales que se intercalan con Talleres de discusión participativos en grupos, conformando cada uno con estudiantes de carreras distintas. Los trabajos grupales forman parte de una estrategia áulica que se entiende como necesaria y superadora de los modelos tradicionales de enseñanza. Los mismos apuntan a la integración de estudiantes y sus saberes, al trabajo en equipo, a mejorar sus habilidades de análisis crítico, diálogo y debate, e implican la construcción del conocimiento a partir de diferentes recursos que sirvan para relacionar la QV y su aplicación a los procesos productivos con el foco en la sustentabilidad. La actividad en el aula se realiza como aplicación de los conceptos teóricos desarrollados previamente, e implica una etapa de lectura, análisis y debate dentro del grupo, exposición oral de las conclusiones obtenidas y debate final integrando todos los grupos, siendo el rol docente sólo el de guía y organizador de la actividad, y el encargado de realizar un cierre con las conclusiones.

Asimismo, la cátedra planifica experiencias participativas con diferentes actores sociales, como emprendimientos productivos locales que hagan foco en la sustentabilidad, empresas de triple impacto o de economía circular, innovaciones científico-productivas, todos ellos enmarcados en el paradigma de la QV. Estas actividades permiten el contacto directo estudiante-mundo laboral, mostrando no sólo que es posible producir y consumir de otra manera, sino que dicho cambio ya está sucediendo.

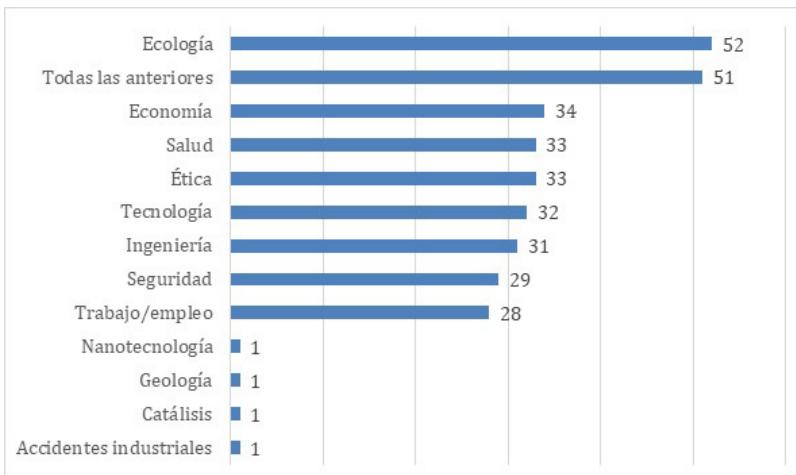
## Resultados y análisis de los datos obtenidos a partir de la Encuesta

### Grupo objetivo

Se obtuvieron, en total, respuestas de 103 estudiantes, correspondientes a las carreras de Bioquímica, Profesorado en química, Ingeniería química, Ingeniería industrial, Ingeniería en alimentos, Ingeniería ambiental, Licenciatura en Biotecnología, Ingeniería en materiales, Diseño industrial, e Ingeniería en Recursos Hídricos. Aunque no se obtuvieron respuestas, cabe mencionar que han cursado estudiantes de Veterinaria, Nutrición, Arquitectura, y Medicina.

## **Resultados sobre la asignatura**

Durante el desarrollo de las clases, los contenidos provienen de diversas disciplinas. Se solicitó a los encuestados identificar las mismas, de un listado de 8 opciones. El 50% de los estudiantes marcó la opción Todas las anteriores, es decir que consideran que al menos en algún momento, los contenidos corresponden a todas las disciplinas listadas, pero, además, incluyeron 4 disciplinas más, no presentes entre las opciones, lo cual da un total de 12 ciencias identificadas como vinculadas a la QV, como se muestra en la Figura 1.



**FIGURA 1.** Diálogo de QV con otras disciplinas.

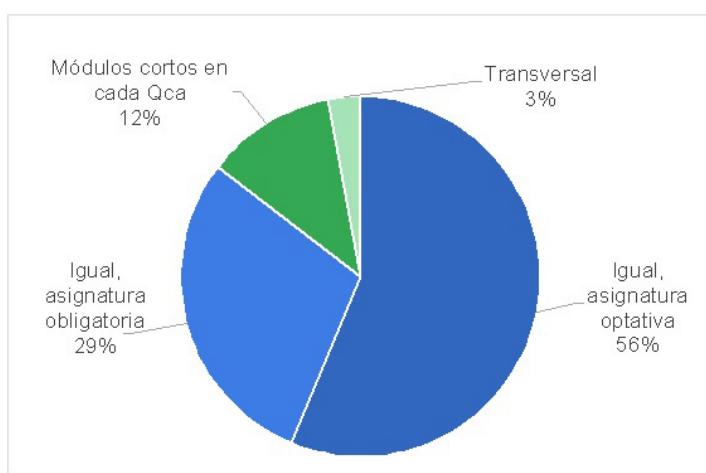
Este resultado es de importancia ya que, si bien implica un desafío para el docente en cuanto a sus conocimientos, así como en la articulación, la planificación y secuenciación de los contenidos, constituye un avance en integrar la enseñanza de las ciencias, fundamental para un entendimiento más acabado de la complejidad ambiental. (Vilches, 2011; Cukierman, 2019; Jurado, 2020; Lorenzo, 2020).

La Figura 2 muestra las opiniones de las y los encuestados sobre la incorporación de QV en la currícula. Un 56% opina que la asignatura debe continuar siendo optativa, mientras que un 29% considera que la misma debería ser obligatoria. Cabe destacar, que si sumamos ambos porcentajes, un 85% de los encuestados respondió que la asignatura debería continuar desarrollándose tal cual está estructurada, lo que implica un aval significativo de la propuesta de esta asignatura, mientras que sólo un porcentaje menor indicó otras alternativas.

Actualmente existe en el mundo académico un debate respecto a la mejor forma de implementación de la QV. (Altava, 2013; Fernandes de Goes, 2013; Armstrong, 2018; Moreno, 2020; Andrade, 2023) De allí que, como se observa en la gráfica, se incluyeran otras opciones.

Sin embargo, teniendo en cuenta que diferentes autores consideran a la QV como una ciencia en sí misma, un área multidisciplinaria más amplia y abarcadora, que cubre la mayor parte de la Química y la Ingeniería Química; que por su nexo con las dimensiones de la

**FIGURA 2.** Incorporación de la QV en la currícula universitaria.

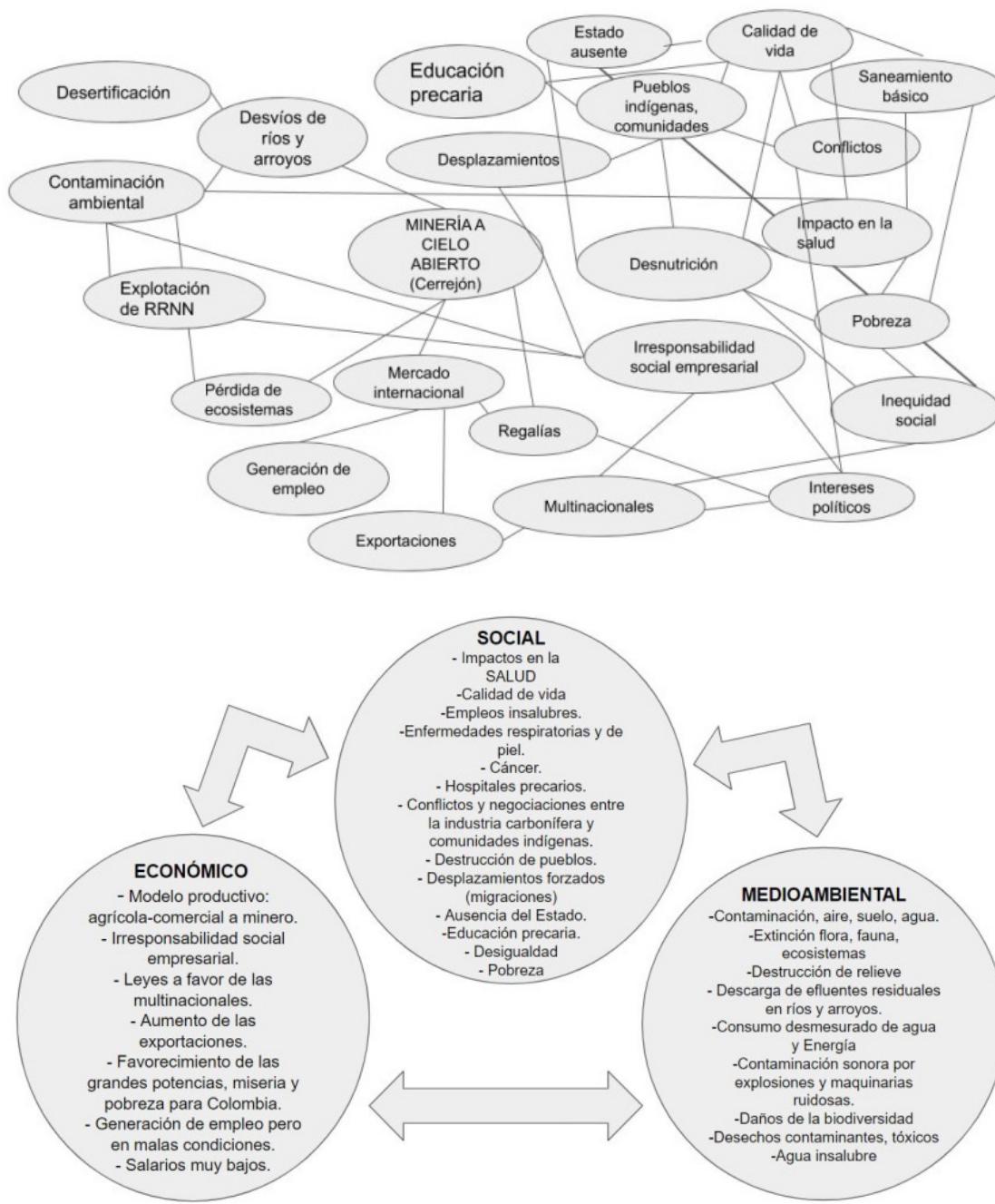


sustentabilidad (Química Verde es sinónimo de Química sustentable) y la ciencia de la sostenibilidad, apuntan a una perspectiva de educación científica situada en los estudios denominados de Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente (CTSA); que no existe en Argentina otra experiencia pedagógica de QV institucionalizada a nivel universitario, y que aún falta camino por recorrer respecto al cambio de paradigmas del constructivismo, la multi-trans disciplinariedad, y la compartimentación de saberes, y teniendo en cuenta además que en este caso se ha priorizado y se prioriza la educación conjunta de estudiantes de carreras muy diversas, es que esta experiencia de 10 años resulta relevante. (Anastas, 1998; Vilches, 2011; Fernandes de Goes, 2013; Machín Armas, 2017; Marques, 2018; Chen, 2020; Lorenzo, 2020; Moreno, 2020; Meinguer Ledesma, 2021; Andrade, 2023).

En cuanto al impacto del cursado de QV frente al futuro rol profesional, casi un 65% indicó que la asignatura le sumó, un 50% indicó un aumento en su responsabilidad individual y un 25% señaló un cambio en su autoperccepción profesional. Asimismo, un 91% indicó estar de acuerdo o muy de acuerdo con la afirmación de que QV es motivadora de conciencia ambiental, y cabe destacar, asimismo, que un 80% indicó que, sin importar la carrera, es importante la incorporación de la enseñanza académica de temas ambientales. Es relevante destacar que las Universidades son el espacio ideal y fundamental para el establecimiento de una mirada amplia, una formación de calidad no sólo en lo técnico-científico, sino en valores humanos, en la generación de conciencia planetaria, indispensable en los escenarios presente y futuros de crisis socio-ambiental, y que la Química verde, así planteada, puede contribuir a este objetivo, donde la utilización del debate como herramienta de aprendizaje cooperativo constituye una estrategia útil y adecuada para la mejora de los aprendizajes, al tiempo que estimula la reflexión crítica, permitiendo relacionar pensamiento-acción, universidad-sociedad. (Esteban, 2017; Vázquez González, 2017; Marques, 2018; Kioupi, 2019; Moreno, 2020; Ramos Mejía, 2020; Meinguer Ledesma, 2021).

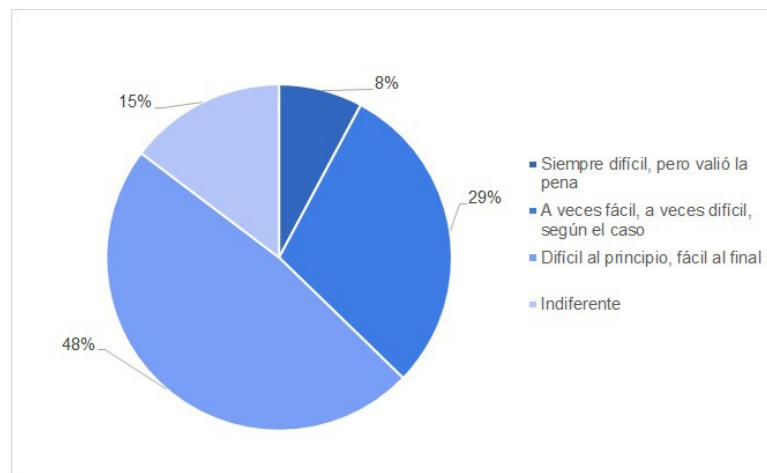
Una de las características principales de la propuesta de la cátedra, es enseñar QV aplicando un enfoque sistémico, como metodología de análisis descriptivo, y como una estrategia de identificación de soluciones y mejoras, relacionadas al uso y aplicación de la química a los procesos productivos. (Chen, 2020) En la práctica del aula ello se logra con diferentes estrategias, una de las cuales implica la realización de gráficos de interrelaciones que permitan la integración de diferentes dimensiones: sociales, económicas, institucionales y medioambientales, etc., apuntando a una perspectiva de educación científica situada en los estudios denominados de CTSA. (Marques, 2018; Lorenzo, 2020). Como resultado de los Talleres de discusión, se logran gráficos sistémicos como los ejemplos de las Figuras 3 y 4, en este caso para la minería de carbón a cielo abierto.

Representar en forma gráfica diferentes aspectos de una problemática, como un mapa conceptual, y realizar el ejercicio mental de asociación, interacción, causa-consecuencia, es una práctica desafiante para un estudiantado, no acostumbrado a la integración de disciplinas, y sin embargo fundamental en la educación en temas ambientales. (Pedroza, 2002; Vilches, 2011; Kioupi, 2019; Jurado, 2020).



**FIGURAS 3 y 4.** Análisis sistemático de la minería de carbón a cielo abierto.

La Figura 5 muestra las respuestas obtenidas relacionadas a la dificultad o no de la aplicación gráfica del enfoque sistemático, en cuanto a establecer conexiones en un esquema plasmado en papel. Esta evaluación se realizó una vez finalizado el cuatrimestre de cursado.



**FIGURA 5.** Dificultad en el establecimiento de conexiones en un gráfico sistemático diseñado, una vez finalizado el cuatrimestre.

De ella se desprende que para el 85% del estudiantado resultó en algún grado de dificultad, modificándose su percepción a medida que transcurría el cuatrimestre, donde luego de 4 meses, casi un 60% de los mismos lograron una apropiación de esta herramienta de análisis.

Consultados en profundidad respecto a los beneficios de la aplicación del enfoque sistemático como herramienta de aprendizaje, las y los estudiantes manifestaron la combinación de conceptos y la capacidad de ver interrelaciones como las opciones más votadas de una lista múltiple, con alrededor de 40% en ambos casos, quedando en tercer lugar, pero igualmente votadas, las opciones de aplicar el pensamiento crítico y todas las anteriores (ambas con 34%). La dificultad mencionada en el párrafo anterior surge en esta nueva pregunta, ya que sólo un 15% mostró como ventaja ver una situación problemática en forma gráfica.

Pensar sistémicamente, es pensar interdisciplinariamente para abordar la complejidad. (García, 2011; Vilches, 2011; Chen, 2020) En este sentido, la Tabla 1 muestra las respuestas respecto a los beneficios del trabajo en grupos conformados por estudiantes de distintas carreras.

| Pregunta: al trabajar interdisciplinariamente: | Porcentaje de respuesta % |
|--|---------------------------|
| Aumentó tu visión global                       | 35                        |
| Lograste unir conceptos que ya traías          | 19,5                      |
| El análisis de los problemas fue más rico      | 41                        |
| Surgieron distintas soluciones                 | 36                        |
| Se logra incorporar la complejidad             | 22                        |
| Todas las anteriores                           | 34                        |
| Ninguna de las anteriores                      | 3                         |

**TABLA 1.** Beneficios del trabajo interdisciplinario.

La riqueza en el análisis de la problemática planteada, así como el debate en torno a las posibles soluciones a la misma, son las dos opciones más votadas (41 y 36%

respectivamente), seguidas muy de cerca con una ampliación de la mirada y todas las opciones sugeridas. Esto se corrobora cuando frente a la afirmación de la importancia de que QV se relacione con otros saberes, un 94% indicó estar de acuerdo o muy de acuerdo.

Al articular diferentes disciplinas, se logran entonces los objetivos de la cátedra de colaborar con una formación universitaria pensando en la complejidad, y preparar de esta forma a las y los futuros profesionales en entender la multicausalidad de los problemas ambientales, para un mundo donde todo está relacionado, y donde se apueste al trabajo en equipo, por considerarse que al debatir entre pares, se logra un aumento y una mejora en la construcción del aprendizaje, en el camino hacia la sustentabilidad. (García, 2011; Vilches, 2015; Vázquez González, 2017; Armstrong, 2018; Chen, 2020; Lorenzo, 2020; Meinguer Ledesma, 2021).

Respecto a esto último, la Tabla 2 muestra las respuestas obtenidas respecto a la evaluación realizada por las y los estudiantes sobre el trabajo grupal en los Talleres de discusión.

| Pregunta: el trabajo en Talleres de discusión grupal te ayudó a: | Porcentaje de respuesta % |
|--|---------------------------|
| Aprender discutiendo   | 32                        |
| Mantenerme abierto a otros argumentos                            | 62                        |
| Modificar tu forma de pensar                                     | 19                        |
| Incorporar la mirada de otra carrera                             | 47                        |
| Hacer amig@s   | 15                        |
| Que la producción sea conjunta                                   | 39                        |
| Todas las anteriores   | 16                        |
| Neutral/Ninguna de las anteriores                                | 5                         |

**TABLA 2.** Trabajo grupal.

De ello se desprenden los beneficios de utilizar el trabajo en Talleres de discusión como una estrategia de participación, siendo una herramienta metodológica que favorece las condiciones de aprendizaje que la formación ambiental requiere, dado que durante el desarrollo de los mismos se privilegian el vínculo, la participación, el intercambio, la argumentación, el pensamiento crítico, la comunicación y la creatividad, constituyéndose así en la apuesta de cambio de paradigma del conductismo al constructivismo. (Esteban, 2017; Vázquez González, 2017; Meinguer Ledesma, 2021). Las mejoras resultantes del aprendizaje participativo, se relacionan a una mirada más amplia e interdisciplinaria, así como las ventajas del trabajo colaborativo, donde las actividades grupales favorecen la integración e identificación como universitarios, que debe ser parte de su formación profesional. (Peñalosa Castro, 2016; Cukierman, 2019; Chen, 2020).

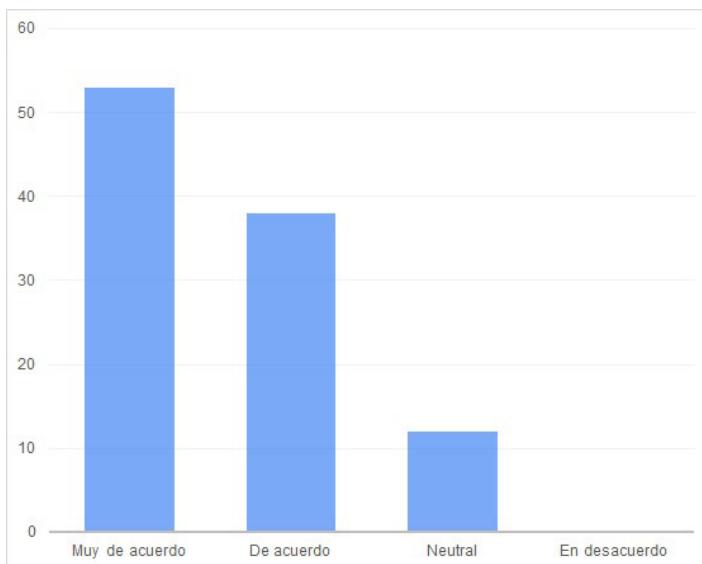
Estos conceptos se refuerzan en la siguiente Tabla, donde se muestran las respuestas obtenidas respecto a las estrategias utilizadas por la cátedra para que el proceso de enseñanza-aprendizaje sea participativo.

**TABLA 3.** Potencialidades de las estrategias participativas.

| Pregunta: Al aplicar estrategias participativas se privilegia: | Porcentaje de respuesta % |
|--|---------------------------|
| el vínculo docente-estudiante                                  | 68                        |
| la participación   | 68                        |
| el intercambio   | 68                        |
| la comunicación  | 59                        |
| la creatividad   | 41                        |
| la construcción del conocimiento                               | 59                        |

Casi todas las respuestas obtuvieron altos porcentajes, especialmente los tres primeros ítems, demostrando que la metodología y recursos docentes aplicados fueron efectivos lo cual se corrobora dado que un 78% indicó estar de acuerdo o muy de acuerdo en sentirse protagonistas del proceso de enseñanza-aprendizaje.

Finalmente, la Figura 6 resume la evaluación por parte de los estudiantes sobre la metodología aplicada en la enseñanza de la QV, donde un 91% indicó estar de acuerdo o muy de acuerdo con la misma.



**FIGURA 6.** Respuesta resumen de evaluación de la metodología propuesta en QV.

Los resultados obtenidos a partir de la Encuesta realizada permiten reafirmar el camino docente recorrido en pos del fortalecimiento de la formación de las y los futuros profesionales, de prepararlos para un futuro complejo y desafiante, que tenga siempre presente que la QV debe y puede cumplir su responsabilidad ética de contribuir al desarrollo y mejorar la calidad de vida de las personas, sin afectar a la naturaleza ni a las generaciones por venir, y confirman asimismo, la validez de las metodologías aplicadas en la enseñanza de la QV, en línea con otras experiencias similares. (Chen, 2020; Ramos Mejía, 2020; Andrade, 2023).

## Conclusiones

Viendo la urgencia de la crisis ambiental actual, con una fuerte componente antropocéntrica en sus causas, considerando que la química y la industria química, así como sus profesionales, juegan un rol destacado en ello, y que los temas ambientales son complejos, es que urge un cambio de paradigma en los procesos de enseñanza-aprendizaje, ya que, para obtener resultados diferentes, no sólo se debe hacer diferente, sino que es necesario aprender distinto.

En este caso se analiza la experiencia de la enseñanza de la Química Verde en la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Litoral durante un período de 10 años, para estudiantes nacionales e internacionales de 12 carreras diferentes.

Tomando la Química Verde como referencia y punto de anclaje, la metodología aplicada, donde las y los estudiantes tienen un rol activo, incluye estrategias de aprendizaje participativo, enfoque sistémico, construcción del conocimiento entre pares y diálogo entre disciplinas, con el objetivo de generar un cambio conceptual y conductual relacionados a su rol social y profesional frente a las problemáticas socioambientales.

Los resultados obtenidos a partir de una Encuesta realizada a las y los estudiantes, permiten afirmar que la metodología aplicada es superadora a las tradicionales por promover cambios en la conciencia ambiental, integrar disciplinas, abordar la complejidad sistémicamente, educar en forma colaborativa tanto en conocimientos científicos como en valores, y apostar a un modelo de enseñanza con un estudiante activo y protagonista.

## Referencias

- Altava, B. Burguete, M. y Luis, S. (2013). Educación cooperativa en Química verde: la experiencia española. *Revista Educación Química* N°24 (número extraordinario 1), 132-138.
- Anastas, P. and Warner, J. (1998). *Green Chemistry – Theory and Practice*. Oxford, England: Oxford Press.
- Andrade, R. Gomez, V. (2023). A Alfabetização Científica em Química Verde e Sustentável. Rede Latino-Americana de Pesquisa em Educação Química - ReLAPEQ. *Revista Educação Química en Punto de Vista*, 7, consultada en diciembre 14, 2023 en la URL <https://revistas.unila.edu.br/eqpv/article/view/3265>.
- Armstrong, L. Rivas, M. Douskey, M. and Baranger, A. (2018). Teaching students the complexity of green chemistry and assessing growth in attitudes and understanding. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 13, 61–67, consultada en diciembre 14, 2023 en la URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2452223618300038>
- Capra, F. (2002). *Capra. La trama de la vida: Una nueva perspectiva de los sistemas vivos*. Barcelona, España: Anagrama
- Chen, M. Jeronen, E. and Wang, A. (2020). What Lies Behind Teaching and Learning Green Chemistry to Promote Sustainability Education? A Literature Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(21), 7876, consultada en diciembre 14, 2023 en la URL <https://www.mdpi.com/1660-4601/17/21/7876>

- Covas Álvarez, O. (2004). Educación ambiental a partir de tres enfoques: comunitario, sistemático e interdisciplinario. *Revista Iberoamericana de Educación*, 35(1): Número especial, 1-7.
- Cukierman, U. y Kalocai, G. (2019). *El enfoque por competencias en las Ciencias Básicas. Casos y Ejemplos en Educación en Ingeniería*. Buenos Aires, Argentina. CONFEDI y CIIE. Editorial Edutecne S.A.
- Esteban, L. y Ortega, J. (2017). El debate como herramienta de aprendizaje. *VIII Jornada de Innovación e Investigación Docente*. 48-56, consultada en diciembre 14, 2023 en la URL <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6114555>
- Fernandes de Goes, L. Leal, S. Corio, P. e Fernández, C. (2013). Aspectos do encohecimento pedagógico do conteúdo de química verde em professores universitários de química. *Revista Educación Química* N°24 (número extraordinario 1), 113-123.
- García, R. (2011). Interdisciplinariedad y sistemas complejos. *Revista Latinoamericana de Metodología de las Ciencias Sociales ReLMeCS*, 1 (1), 66-101 consultada en diciembre 14, 2023 en la URL <https://www.relmecs.fahce.unlp.edu.ar/article/view/v01n01a04>.
- Jurado, A. Virgen, M. and Vargas, H. (2020). Education for Sustainable Development: an educational strategy in intensive care. In *Vestigium Ire*, 14(1), 139-162, consultada en diciembre 14, 2023: [https://www.researchgate.net/publication/346631025\\_Educacion\\_para\\_el\\_Desarrollo\\_Sostenible\\_Una\\_Estrategia\\_Educativa\\_en\\_Cuidados\\_Intensivos](https://www.researchgate.net/publication/346631025_Educacion_para_el_Desarrollo_Sostenible_Una_Estrategia_Educativa_en_Cuidados_Intensivos)
- Kioupi, V. and Voulvouli, N. (2019). Education for Sustainable Development: A Systemic Framework for Connecting the SDGs to Educational Outcomes. *Sustainability*, 11 (21), 6104, consultada en diciembre 14, 2023 en la URL <https://doaj.org/article/ca1bef2f3e104a3fa32eea7a5908837a>.
- Lorenzo, M. (2020). Abordaje interdisciplinar para la enseñanza de las ciencias y la actualización de los profesores. *Educación en Ciencias Biológicas*, 5(1), 1-9.
- Machín Armas, F. Céspedes, S. Riverón, A. y Ferenández, E. (2017). Sostenibilidad, ingeniería y enseñanza de las ciencias básicas. Marco teórico conceptual. *Revista Iberoamericana de Educación*, 73, 179-202, consultada en diciembre 14, 2023 en la URL <https://rieoei.org/RIE/article/view/298>.
- Marques, C. e Machado, A. (2018) Una visión sobre propuestas de enseñanza de la Química Verde. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 17 (1), 19-43, consultada en diciembre 14, 2023 en la URL [http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen17/REEC\\_17\\_1\\_2\\_ex1093.pdf](http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen17/REEC_17_1_2_ex1093.pdf)
- Meinguer Ledesma, J. y Pérez, M. (2021). Desarrollo y evaluación de elementos de pensamiento crítico sobre la química verde en el bachillerato. *Revista de Investigación e Innovación Educativa*, ,73(103), 106-124.
- Mestres, R. (2004). A brief structured view of green chemistry issues, *Green Chemistry*, 6, G10-G12, consultada en diciembre 14, 2023 en la URL <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2004/gc/b314467b>.

Moreno, F. y Ordoñez, L. (2020). El enfoque de química verde en la investigación en didáctica de las ciencias experimentales. Su abordaje en revistas iberoamericanas: 2002-2018. *Educación Química*, 31 (1), 84-104.

Oliveira, N. e Freire, F. (2023). Teaching for sustainability in Brazilian higher education from the perspective of the Sustainable Development Goals. *Revista Brasileira de Educação*, 28, 1-29, consultada en diciembre 14, 2023 en la URL <https://www.scielo.br/j/rbedu/a/jnqpDTkfdczxMvwPGKZjHth/?lang=en>.

Pedroza, R. (2002). Interdisciplinariedad y transdisciplinariedad en los modelos de enseñanza de la cuestión ambiental. *Cinta Moebio* 15, 286-299, consultada en diciembre 14, 2023 en la URL <https://www.moebio.uchile.cl/15/pedroza.html>

Peñalosa Castro, E. y Quintero, R. (2016). *Sustentabilidad. Una visión multidisciplinaria*. Morelos, México: Universidad Autónoma Metropolitana, consultada en diciembre 14, 2023 en la URL <http://dccd.cua.uam.mx/repositorio/libros.php?libro=PenalosaQuintero-Sustentabilidad>

Ramos Mejía, A. (2020). Enseñar Química en un mundo complejo. *Educación Química*, 31(2), 91-101.

Rivera-Hernández, J. Blanco-Orozco, N. Alcántara-Salinas, G. Houbron, E. y Pérez-Sato, J. (2017). ¿Desarrollo sostenible o sustentable? La controversia de un concepto. *Posgrado y Sociedad. Revista Electrónica del Sistema de Estudios de Posgrado*, 15 (1), 57-67, consultada en diciembre 14, 2023 en la URL <https://revistas.uned.ac.cr/index.php/posgrado/article/view/1825>.

Vásquez González, B. Pleguezuelos Saavedra, C. y Mora Olate, M. (2017). Debate como metodología activa: una experiencia en educación superior. *Revista Universidad y Sociedad*, 9 (2), 134-139, consultada en diciembre 14, 2023 en la URL [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2218-36202017000200018](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202017000200018).

Vilches, A. y Gil Pérez, D. (2011). Papel de la Química y su enseñanza en la construcción de un futuro sostenible. *Educación Química*, 22 (2), 90-102.