



# Reflexiones sobre la formación de científicos ambientales desde la química.

Una experiencia desde la formación de posgrado.  
Luis Felipe Cházaro 

## Resumen

Este artículo reflexiona sobre los desafíos y estrategias en la formación de científicos ambientales desde la perspectiva de la química, basándose en la experiencia del autor como profesor y coordinador académico en la División de Ciencias Ambientales del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A. C. Se destaca la complejidad intrínseca de las ciencias ambientales, que requieren enfoques interdisciplinarios para abordar problemas multifacéticos. El autor, químico de formación, analiza las dificultades de enseñar química a estudiantes con perfiles diversos que no se reducen a los de perfil químico, y enfatiza la necesidad de adaptar métodos pedagógicos para hacer accesibles y relevantes los conceptos químicos en la formación de científicos ambientales. Entre las lecciones clave se incluyen: fomentar la conciencia ambiental, promover la colaboración interdisciplinaria e integrar problemas reales en la enseñanza. Además, se aboga por ampliar las perspectivas laborales más allá de la academia y se resalta la importancia de comunicar la ciencia efectivamente. Las conclusiones llaman a un enfoque educativo flexible e inclusivo que prepare científicos ambientales capaces de enfrentar desafíos dinámicos e interconectados.

**Palabras Clave:** Formación interdisciplinaria, Química ambiental, Posgrado, Complejidad ambiental

## Abstract

This article reflects on the challenges and strategies in the training of environmental scientists from the perspective of chemistry, based on the author's experience as a professor and academic coordinator in the Environmental Sciences Division of the Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A. C. The article highlights the intrinsic complexity of environmental sciences, which require interdisciplinary approaches to address multifaceted problems. The author, a chemist by training, discusses the difficulties of teaching chemistry to students with diverse profiles that are not reduced to those with a chemical profile and emphasizes the need to adapt pedagogical methods to make chemical concepts accessible and relevant in the training of environmental scientists. Key lessons include fostering environmental awareness, promoting interdisciplinary collaboration, and integrating real-world problems into teaching. In addition, it advocates broadening job prospects beyond academia and highlights the importance of communicating science effectively. The conclusions call for a flexible and inclusive educational approach that prepares environmental scientists capable of addressing dynamic and interconnected challenges.

**Key Words:** Interdisciplinary training, environmental chemistry, postgraduate, environmental complexity

## Introducción

No es sencillo definir ¿qué son las ciencias ambientales?, y la respuesta a esta pregunta sería determinante para responder ¿qué debería enseñar un posgrado en ciencias ambientales? Así que, para responder esta pregunta quizá los profesores partimos del sesgo de que nuestras disciplinas (la química, la biología u otra) son las más importantes, aún sabiendo que los problemas ambientales son problemas complejos que tienen que ver con la biología, la química, las geociencias, la física, entre otras disciplinas.

Tomando en cuenta que responder esta pregunta sin la primera supone un sesgo, en este artículo se hablará de la importancia de la química en la formación de los científicos ambientales desde la experiencia que he tenido como profesor investigador en la División de Ciencias Ambientales del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C. (IPICYT), así como desde mi experiencia como coordinador académico del posgrado en Ciencias Ambientales entre 2017 y 2019. Se toma esta perspectiva a sabiendas de que **la química no es la única disciplina que atiende lo ambiental, sino que es parte de las disciplinas que atienden el sistema ambiental.**

Tengo una licenciatura en ciencias en el área terminal en fisicoquímica y un doctorado en ciencias químicas. Antes de llegar a esta división no trabajaba el tema ambiental, me enfoqué en la química organometálica y en la electroquímica molecular, las cuales son áreas de las ciencias químicas. En mi segundo posdoctorado me enfoqué en la síntesis y caracterización de compuestos cuya preparación ni siquiera tenía un impacto ambiental favorable; es decir, que no se apega a alguno de los principios de la química verde. Estuve, por ejemplo, usando disolventes y precursores que, en ese entonces, a pesar de que sabía que causaban algún tipo de daño, no lo dimensionaba ambientalmente. En mi postulación a la plaza de la división, uno de los requisitos fue el planteamiento de un proyecto de investigación con el cual me insertara, con base en mi experiencia, para lo cual hice una propuesta sobre el desarrollo de sensores electroquímicos para la detec-

ción de contaminantes inorgánicos en el agua. Esa fue la primera vez que me di cuenta de que mi experiencia en investigación me permitía abordar un problema ambiental de contaminación del agua, pero solo un aspecto de tantos en un problema ambiental tan amplio y complejo. Entonces, soy un químico inorgánico con una formación en un aspecto del amplio campo de la electroquímica enfocado en la temática ambiental. La electroquímica ambiental no es una especialidad (Rajeshwar e Ibanez, 1997), pues es transversal a especialidades como electroquímica de materiales, electroquímica molecular, ingeniería electroquímica, entre otras.

Hay química inorgánica, orgánica, analítica, especializaciones como química organometálica o química de materiales, química computacional y química atmosférica. Dentro de esa clasificación, también existe la química ambiental (Chan-Keb et al., 2022), que trata los procesos químicos del ambiente (Baird, 2018), así que cada especialista de la química orienta sus conocimientos a atender problemáticas ambientales vinculadas a su especialidad. Ahora bien, mi formación no estuvo relacionada con problemas ambientales reales, sino que asimilé conceptos y reacciones en abstracto. La química era la química y con saber química, por ejemplo, con saber caracterizar y entender el comportamiento de una molécula en un medio químico determinado, esto era válido para otros escenarios. Pero, esa formación que fue válida para mí y para quienes estudiaron química, no es óptima para todos los estudiantes que estudian un posgrado en ciencias ambientales, no es posible obligar a estudiantes con formaciones distintas a razonar en mi lenguaje, por lo que no es deseable creer que para todos es igual de fácil asimilar los conocimientos de la química tal como a mí me fueron enseñados y por todo el tiempo que le dediqué durante mi formación académica y ahora como investigador.

## Enseñar química a científicos ambientales en formación

El IPICYT tiene tres líneas de investigación: Ecología y Cambio Ambiental Global, Sistemas Ambientales Complejos y Biotecnología Ambiental. **La**

**primera** se enfoca en la restauración, conservación y uso sostenible de los recursos naturales y los servicios ecosistémicos. **La segunda** estudia procesos biológicos y fisicoquímicos para la depuración de efluentes, la remediación de sitios contaminados y la generación de fuentes alternas de energía renovable; además, apunta al desarrollo y aplicación de tecnologías para el aprovechamiento y reutilización de subproductos industriales y urbanos. **La tercera** se diseñó con el propósito de que se establecerían colaboraciones entre quienes pertenecemos a una u otra, para en principio proponer y desarrollar proyectos multidisciplinarios, ya de que por nuestra formación individual se dificulta, por simplemente los diferentes lenguajes que cada persona maneja en su área; de hecho, a la fecha seguimos trabajando en la configuración de esta tercera línea. De modo que, la química es central en dos de las líneas de la División de Ciencias Ambientales.

En el currículo del posgrado en ciencias ambientales se contemplan cursos relacionados con la química, en el curso propedéutico para aquellos que se postulan a ingresar a la maestría, o en los cursos de tronco común de la maestría, pues a los estudiantes sí se les pide que estudien o repasen —si es que en sus licenciaturas han abordado el tema— conceptos básicos de química general, como el enlace químico, la estructura del átomo, la configuración electrónica, cómo leer una tabla periódica (que es la base para un químico) para saber interpretarla, y temas relacionados con la termodinámica. Entre las materias que hoy día se imparten relacionadas con la química están: Principios y aplicaciones de procesos fisicoquímicos; Conceptos de electroquímica; Química del agua; Tratamiento biológico y fisicoquímico de emisiones; y Fundamentos en Biotecnología e Ingeniería Ambiental, entre otras.

Los perfiles deseables para ingresar al posgrado, maestría o doctorado en ciencias ambientales del IPI-CYT son egresados de licenciaturas o ingenierías en Agronomía, Agroecología, Agroindustrias, Biología, Bioquímica, Bioprocesos, Biotecnología, Ciencias Ambientales, Ciencias Forestales, Ecología, Química, Microbiología, Recursos Naturales, pero también han

ingresado un físico o ingenieros en tecnología, pues hay apertura para otras áreas afines.

Fue sobre la marcha de convertirme en formador de científicos ambientales, por casi 15 años, que me di cuenta de **1) los químicos requieren preparar nuevas sustancias y diseñar materiales, pero que también para llevarlo a cabo se requiere promover la responsabilidad de cómo hacer que esos procesos cumplan con los principios de la química verde**, o dicho de otra manera, para mitigar el efecto sobre el ambiente, o como hacer a algunos procesos químicos sostenibles (Anastas, et al., 1998). Si ya no va a tener un uso lo que se sintetizó, al menos se debería destruir, se debería buscar regenerar lo que se impactó y tener la visión de cerrar el ciclo al responder ¿qué efecto tienen los compuestos creados sintéticamente en los organismos vivos, en los sedimentos, en cuerpos de agua, en el aire, en los centros de almacenamiento?, ¿se va a degradar o a propagar? Y así, buscar ser lo menos contaminantes posible. Así que, también sería muy benéfico que químicos con posgrado en ciencias ambientales sean formadores de las siguientes generaciones de químicos y añadan esa dimensión ambiental a su formación, que hace falta formar desde los programas de licenciatura y así, las nuevas generaciones de químicos no limiten sus precauciones a la normativa vigente que deben cumplir.

Me di cuenta de que **2) quien se va a dedicar a las ciencias ambientales requiere estar motivado a atender problemas ambientales, poseer conciencia del cuidado ambiental; 3) que debería de tener la curiosidad de aprender de otras disciplinas distintas a las de su especialidad y estar abiertos a aprender de diferentes áreas del conocimiento**, lo que le permita asimilar conocimientos de diferentes disciplinas.

También **4) de lo importante que es que los profesionales en ciencias ambientales estudien algunos aspectos básicos de la química, adquieran conciencia de la importancia de la química en el contexto ambiental** y sean conscientes de que al menos debes contactar a un profesionista formado en química para entender ciertos aspectos de la química o de procesos químicos. En ocasiones hay estudiantes con mayor conocimiento de química, que en el curso propedéutico se les facilita el repaso de algunos conceptos básicos de química ge-

neral, como los que se mencionaron arriba, ya sea porque tuvieron una amplia formación en estos temas o que solo lo hayan visto en los primeros semestres de sus carreras. Pero, también hay quienes requieren estudiar lo anterior para el examen de admisión en los cursos de posgrado, prácticamente empezando de cero, porque estos temas no se incluyeron en la currícula de sus licenciaturas o maestrías.

Como químico, será muy fácil enseñarles tal como fui enseñado, asumir que la manera en la que yo aprendí es la mejor manera de que otros aprendan química. Pues cuando estudié se me convenció que ese era el estilo de aprender y trabajar, es el estilo que me funcionó, y me siento cómodo con ello. Así que, podría dar por sentado que todos los estudiantes ya tienen un conocimiento básico de la química y que basta con utilizar los ejemplos que hay en los libros que ayudaron y aún ayudan a formar a los químicos, para que ellos lo aprendan, pero me he dado cuenta de que estudiarlos por primera vez, sobre todo a nivel de posgrado, es un gran reto que inclusive puede ser frustrante. Sería ideal que los estudiantes estudien e identifiquen procesos químicos que ocurren en su vida cotidiana, como la preparación de alimentos por ejemplo (Córdova, 2017).

Pero, precisamente, la experiencia como profesor en esta División generó un choque con estos supuestos, pues inicié impartiendo clases como las recibí y fue necesario cambiar mi sistema de enseñanza según las necesidades de los estudiantes con sus diferentes perfiles profesionales.

**Formar a científicos ambientales con diversos antecedentes formativos requiere buscar ejemplos que estén relacionados con sus diferentes conocimientos adquiridos, sobre todo en cuestiones relacionadas con el ambiente** para 1) enseñar química y para 2) enseñar la importancia de la química para atender problemas ambientales. También requiere de 3) ser empáticos con las diferentes formaciones y cambiar el lenguaje del que se usaría con químicos a uno para un público más amplio. No todos manejan el mismo lenguaje. Es a través de los cursos que lo van a aprender y a diferentes ritmos de asimilación. Todo lo anterior añade complejidad a la labor docente, porque le exige al profesor que va a dar clases a futuros científicos ambientales una adaptación a los perfiles de sus estudiantes. Lo que requiere de la imaginación necesaria para seleccionar los

ejemplos que más se relacionen con sus diferentes antecedentes de licenciatura o profesionales si tuvieron alguna experiencia laboral antes de retomar los estudios.

Por ejemplo, en el caso de los biólogos, selecciono temas que tienen que ver con lo que saben. Por ejemplo, la actividad enzimática por la importante función que cumplen las enzimas en el metabolismo de los organismos vivos. Entonces esto crea un mejor anclaje para transmitirles el mensaje. Es decir, hay una tensión entre enseñar química a los estudiantes y enseñarlos a ser científicos ambientales, pues los estudiantes con perfil de químico que se orientaron a las ciencias ambientales tienen necesidades y orientaciones específicas que no comparten con sus compañeros de posgrado con otras formaciones. Ya que estos tienen diferentes necesidades, intereses y orientaciones. En este contexto, **mi función es la de explicar los contenidos para hacerles más sencillo el proceso de asimilación de los aprendizajes básicos de la química para volverse científicos ambientales. Para lo cual, he buscado cómo transmitir conocimientos de la química ligada a problemas reales que son ambientalmente relevantes**, lo que a su vez me ha hecho transitar de un electroquímico molecular a un electroquímico ambiental.

Es más fácil que me entienda un químico e, incluso, alguien con formación en química, pues usan mi lenguaje técnico. Mientras que, profesionales con otros perfiles no traen estos conocimientos tan a la mano. Esto supone que en varias generaciones se requiere partir desde cero cuando he impartido el curso de Química general, Termodinámica (cuando así se llamaban las unidades que integraban los cursos, o los mismos cursos, así como en el curso de fundamentos de la biotecnología e ingeniería ambiental en el que impartí una unidad sobre reacciones químicas redox, que no son las únicas reacciones que ocurren en la naturaleza, pero son reacciones muy comunes. En estas materias me ha sido difícil transmitir el mensaje de que es importante la química a quienes no tienen una formación previa en esta y el reto más grande que tengo es transmitirles conciencia sobre la importancia de la química en los problemas que atienden, que sean conscientes de asimilar sus conceptos, que sean capaces de razonar para entenderlos para luego relacionarlos con cuestiones reales y utilizar estos conceptos en la investigación cotidiana.

De modo que, he procurado que los estudiantes que no se dedicarán a hacer una propuesta de investigación en la que la química es central, no teman en incluirla. El ejemplo que pongo, regularmente, es que, si su investigación está relacionada con los suelos, deberían caracterizar el suelo, sus contenidos de sustancias químicas o sus propiedades químicas. O, si quieren ver cuál es el efecto de algún fertilizante o pesticida en una comunidad biótica sería adecuado que contactaran a un químico para que los apoye en la caracterización de aquel compuesto.

Desafortunadamente si la investigación que harán no es primordialmente química, es poco común que se enriquezcan dichas investigaciones con este tipo de estudios. Esto puede ser porque los mismos estudiantes tienden a especializarse en las áreas que están, para no complicarse o por el tiempo en el que tienen que obtener su grado de maestría o doctorado; y allí, los requisitos impuestos a los posgrados tienden a que se cumpla con la disciplinaria, pero llegan a ser una barrera para la interdisciplinaria deseada en las ciencias ambientales. Puede ser esa inercia disciplinaria heredada de formaciones previas o el mismo tiempo que tienen para cumplir su proyecto dos de las grandes barreras para que los estudiantes limiten sus proyectos, pues con mis colegas profesores comparto la idea de que los estudiantes no deben estar enfocados solamente en la disciplina en la que fueron formados previamente, ni en la que lo fuimos nosotros.

Entonces, como nosotros no tuvimos esa formación que les estamos dando, sino que buscamos que la perspectiva de los estudiantes llegue a ser más amplia que la nuestra y, debido a que un problema ambiental abarca muchos aspectos; procuramos que los estudiantes sean capaces de identificar sus limitaciones teórico-metodológicas y que procuren formar un equipo de trabajo y ver sus proyectos en un marco más amplio. Queremos que cuando estén en un ámbito profesional, sean conscientes de que su trabajo requiere tener al menos un enfoque multidisciplinario, aunque lo ideal es que sea interdisciplinario y que estén dispuestos a colaborar con especialistas que han cultivado otras disciplinas, ya sean geoquímicos, biólogos, bioquímicos, biotecnólogos, ingenieros agroindustriales, ecólogos, o los de geociencias, por nombrar algunas disciplinas. Aunque yo enfatizo que quienes no necesariamente van a formarse vinculados a la química, requieren contactar

a un especialista en esta para que les permita abordar ese aspecto del sistema que se está estudiando.

## **Experiencia como coordinador académico de la División de Ciencias Ambientales**

Ahora bien, considero que haber sido coordinador académico de la División de Ciencias Ambientales permite tener una perspectiva distinta a la que tenía previamente. Por eso, creo que todos los profesores deben ser en algún punto coordinadores, porque el coordinador muy fácilmente puede darse cuenta de que no solo los estudiantes tienen puntos de vista distintos y diferentes formas de trabajar, también lo tienen los profesores. Mientras el profesor tiende a relacionarse principalmente con quienes tienen su línea de investigación, el coordinador tiene la obligación de conocer más a detalle a toda la comunidad de profesores y estudiantes, y así, brindarles atención personalizada. Pues, lo ideal sería que todos los investigadores que conforman el programa de posgrado sepan cómo va el desempeño académico de los estudiantes, estén relacionados con sus avances de tesis o no, les den clases o no. Lo cual, es complicado de lograr, pero el coordinador requiere tener esa atención y es el momento para desarrollarlo adecuadamente.

**El coordinador requiere desarrollar sus capacidades de negociación y empatía, es un puesto de sensibilización a otros tipos de problemas relacionados con la investigación y la enseñanza,** pero también externos a estos. Por lo tanto, ayuda a formar a las nuevas generaciones a través de su seguimiento y a que también se desarrollen sus capacidades dentro del contexto de sus proyectos de tesis y durante su vida académica durante su estancia en el instituto. También, el coordinador necesita voltear hacia afuera de la institución, a otros posgrados en ciencias ambientales y tras esto reconocer sus oportunidades de mejora y buscarlas.

## **Otros elementos a destacar en la formación de ciencias ambientales**

En la División de Ciencias Ambientales, cada semestre se hacen dos exámenes tutoriales en los que los proyectos están expuestos a una crítica y los estudiantes a

una retroalimentación, esto ayuda a disminuir parte de los problemas previamente abordados, como que las investigaciones sean menos disciplinares y cubran los requisitos de ser de ciencias ambientales. Este proceso también obliga al estudiante a no sólo aprender conocimientos, sino a organizarse para cumplir con su plan de actividades y a comunicar sus hallazgos adecuadamente a un grupo de evaluadores.

Otra cosa que destaca en los posgrados del IPICYT es el Congreso Interdisciplinario de Posgrados (CONIP), el cual es organizado por los estudiantes de los distintos programas del IPICYT. Lo cual es importante, precisamente porque la experiencia en la organización de eventos académicos brinda experiencia en labores de gestión que llegan a descuidarse en la formación de los científicos ambientales. Ya sea que los estudiantes sean organizadores o miembros del staff aprenden qué hay detrás de la organización de un evento académico. No sólo asistir a estos Congresos, sino participar activamente en ellos ayuda a aumentar las redes académicas de los estudiantes y puede ponerlos en contacto con futuros directores de tesis, anfitriones de estancias posdoctorales, colaboradores o profesionistas en la iniciativa privada o en instituciones públicas. La labor que implica organizar un evento grande como el CONIP requiere que haya un equipo grande para que las tareas estén bien divididas y no les reste tiempo a sus trabajos de investigación. Así que la organización de eventos académicos es un buen ejercicio para formar equipos, asumir y deslindar responsabilidades desde el acuerdo, y lograr un proyecto donde el beneficio es común, en el que se busca que los errores se den al mínimo posible.

Pero, mi experiencia en la División también me permite llamar la atención sobre posibilidades que falta discutir. Considero que, es necesario indicar a nuestros estudiantes que no necesariamente al egresar se van a dedicar a la academia, que hay otros ámbitos: pueden ser consultores ambientales, pueden fundar una empresa; pues dentro de las empresas se requieren profesionales con formación ambiental, y que atiendan el impacto de sus actividades, e incluso, que no se limiten a atender la normatividad, sino que busquen mejorar sus procesos, y que generen un menor impacto ambiental.

También sería benéfico mostrarles que las posibilidades que tienen como científicos ambientales son amplias

y que pueden incluso impactar en la misma normatividad y cambiar las políticas ambientales tomando en cuenta a la ética ambiental. Pero, para esto, es imprescindible consultar la normatividad y las metodologías plasmadas en la legislación ambiental; entender si estas se apegan a la realidad o han sido superadas, porque el problema ambiental es dinámico. Atender esto podría favorecer que los egresados tengan incidencia en la legislación ambiental.

Aunque, para favorecer la incidencia, se requiere tanto de los docentes como de parte de los estudiantes la comunicación de la ciencia. Algo que se requiere inculcar en nuestros estudiantes. Pero no como algo esporádico, sino como algo cotidiano. Como parte de la responsabilidad de los científicos ambientales para fomentar la conciencia ambiental. Para lo cual, es fundamental que aprendan a hablar para públicos amplios, no para especialistas.

## Conclusión

Las ciencias ambientales nacieron de la imposibilidad de que las disciplinas aisladas atendieran la problemática ambiental. Por eso **hay aprendizajes a cada paso dado y, sobre la marcha, se van transformando.**

Formar a científicos ambientales requiere dotarles de conciencia sobre la importancia de las disciplinas que menos conocen e impulsar que desarrollen dicha conciencia, pues es posible que, en general, en la formación en ciencias ambientales se descuide la enseñanza de la química entre los estudiantes cuyos proyectos están orientadas a otras disciplinas y que entre estos profesionales se descuide la conciencia de su importancia. También es posible que esto aplique a otras disciplinas necesarias en las ciencias ambientales, por lo que es necesario impulsar esa conciencia de necesidad multi, y de preferencia, interdisciplinaria, que va desde el interés propio hasta la atención de los problemas ambientales por medio de equipos formados por profesionales con distinta formación.

También **es fundamental que los profesores nos demos cuenta de los cambios de las nuevas generaciones**, para lo cual se requiere observar la recepción de la enseñanza de parte de los estudiantes y si es necesario cambiar las dinámicas de enseñanza, o impulsar otras habilidades docentes, inclusive con un enfoque más actual sobre métodos de enseñanza-aprendizaje. Para esto, **se requiere mejorar el vínculo entre la enseñanza de las ciencias ambientales y la educación ambiental.**

## Referencias

- Anastas, P. T. y Warner, J. C. (1998) Green Chemistry: Theory and Practice, Oxford University Press: New York,
  - Baird, C. (2018). Química ambiental. Reverte.
  - Chan-Keb, C. A., Agraz-Hernández, C. M., Pérez-Balán, R. A., Gutiérrez-Alcantara, E. J. (Coords) (2022). Química Ambiental. Ecorfan.
  - Córdova Frunz, J. L. (2017) La química y la cocina. Fondo de Cultura Económica.
  - Rajeshwar, K. e Ibanez, J. G (1997). Environmental Electrochemistry Fundamentals and Applications in Pollution Abatement. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-576260-1.X5000-1>
-