

Aprendizaje basado en *investigación* a partir de mini-casos asistidos con *IA*

Las mini-investigaciones producen cambios en el compromiso estudiantil, la comprensión conceptual y el razonamiento científico.

POR Saeed Beigboroujeni (saeed.beigi@tec.mx) · Jorge Cruz-Angeles (jecruzangeles@tec.mx)

Me había tomado cincuenta minutos de la clase explicar el mecanismo de apertura de anillos epóxidos, algo que para mí, como investigador en **materiales sustentables**, era fascinante. Veía cómo flechas curvas conectaban átomos, los electrones saltaban de un lado a otro y las estructuras moleculares se transformaban mágicamente. De pronto, una estudiante me pregunta: «Profesor, ¿y esto para qué me sirve?». Me di cuenta de que claramente no estaba transmitiendo la relevancia de lo que explicaba. Entonces, surgió la pregunta que cambió la manera de impartir mi curso: ¿Cómo puedo **llevar la experiencia de una investigación real al aula**, sin laboratorios especializados, sin presupuestos millonarios y sin comprometer la seguridad del estudiantado? Así nació el concepto de **mini-investigaciones**: no son simulaciones ni ejercicios inventados, son **fragmentos auténticos de una investigación real adaptados pedagógicamente** para que los estudiantes de licenciatura puedan abordarlos con el apoyo de asistentes inteligentes para una atención personalizada. En este artículo comparto mi experiencia.

La **química orgánica** es el motor que impulsa algunas de las **innovaciones más críticas del mundo**: materiales biomédicos, polímeros sustentables y recubrimientos funcionales avanzados, por mencionar algunos. Diariamente usamos productos que existen gracias a la química orgánica como **el plástico del celular, el recubrimiento de los lentes, incluso los medicamentos que tomamos**. También, vivimos expuestos a contaminantes CO₂ mismos que se pueden capturar y transformar para **mitigar el cambio climático**. Todos estos ejemplos son resultados de transformaciones químicas. Muchas veces los estudiantes dominan los ejercicios en clase por memorización sin **visualizar el alcance de lo que están aprendiendo**, por ejemplo, memorizan que «el CO₂ reacciona con epóxidos», pero no comprenden por qué sucede esta reacción ni cuál es su relevancia.

■ La idea que cambió mi curso: convertir una investigación real en mini-casos de aprendizaje

La solución llegó cuando **me detuve a analizar mi propio proceso de investigación**. En mi laboratorio, estamos desarrollando materiales fotopolimerizables a partir de CO₂ como fuente de carbono renovable. **El proceso completo incluye varios pasos que involucran conceptos fundamentales de química orgánica**: hibridación del carbono, nucleofilicidad y electrofilicidad, resonancia, grupos funcionales, mecanismos de reacción, etc. (Cooper et al., 2010).

Pensé: ¿Y si dividimos este proyecto real en casos pequeños que los estudiantes puedan resolver en equipo? **Lo que llevó a transformar mi proyecto de investigación en tres**

mini-casos que los estudiantes pudieran abordar durante el periodo escolar.



Figura 1. Flujo del proyecto de investigación, de CO₂ a materiales fotopolimerizables. Creación propia, 2025.

¿Cómo funciona una mini-investigación en clase?

Cada mini-investigación tiene un objetivo y tres etapas que replican el método científico real.

Etapas 1: Orientación — Entender el problema como científico

Los estudiantes **reciben un desafío científico** simplificado pero real. Por ejemplo, en el Mini-caso 1:

«El CO₂ es un gas de efecto invernadero que contribuye al calentamiento global. Sin embargo, también puede ser una fuente renovable de carbono para fabricar materiales. **Tu reto:** diseñar una ruta química para convertir CO₂ en un monómero que pueda usarse para hacer polímeros sustentables».

Los estudiantes trabajan en equipos investigando, discutiendo, dibujando estructuras y haciendo preguntas. Los estudiantes exploraron reactantes, mecanismos, estados de hibridación y conversiones de grupos funcionales usando actividades guiadas.

Etapas 2: Diseño — Proponer la ruta de reacción

Esta es la etapa más creativa. Los estudiantes diseñan su propia secuencia de reacciones usando transformaciones reales como apertura de anillos, carbonatación (Du et al., 2018; North et al., 2010), formación de uretano (Maisonneuve et al., 2015) y esterificación. Deben proponer reactivos, catalizadores, estrategias de purificación y consideraciones de química verde (Anastas & Warner, 2000).

Etapa 3: Análisis — Interpretar datos reales de laboratorio

Dado que la clase es una clase teórica pero buscamos un aprendizaje auténtico, en lugar de que los estudiantes analicen datos inventados, **analizan datos reales producidos en el laboratorio de investigación**, incluyendo los resultados de espectroscopia para mostrar la reacción de los grupos funcionales entre sí para sintetizar un nuevo grupo funcional. Además, el análisis térmico muestra la fuerza de las interacciones intermoleculares, como los enlaces de hidrógeno entre nuevos grupos funcionales. Los datos de fotopolimerización también les ayudan a evaluar sus hipótesis sobre los grupos funcionales polimerizables. **Compararon materiales, identificaron grupos funcionales, explicaron tendencias y relacionaron la estructura con el rendimiento, exactamente como un investigador real lo haría.** Este enfoque hace la química orgánica activa, significativa y científicamente auténtica, sin requerir que los estudiantes realicen experimentos físicamente complejos o peligrosos.

ANATOMÍA DE UN MINI-CASO EN TRES ETAPAS

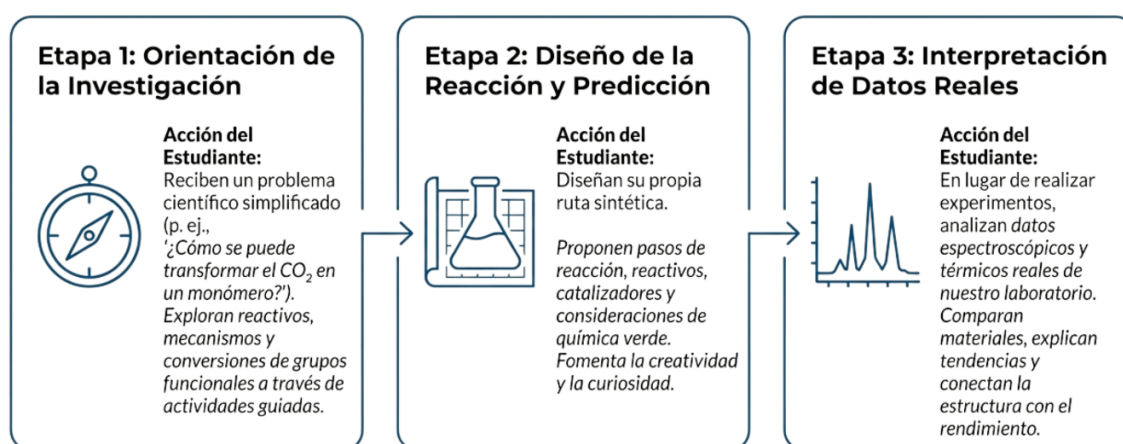


Figura 2. Las tres etapas de una mini-investigación en el aula. Creación propia, 2025.

El impacto educativo observado en el aula

La implementación de las mini-investigaciones condujo a cambios observables en el *engagement* estudiantil, la comprensión conceptual y las habilidades de razonamiento científico. **Los estudiantes se sintieron participando en la investigación real**, no solo en la clase de química. **Mostraron curiosidad genuina por ver los datos reales que estaban analizando e hicieron preguntas de seguimiento que iban más allá de las expectativas del curso.** Al trabajar con reacciones reales basadas en CO₂, los estudiantes desarrollaron entendimientos más profundos sobre hibridación, resonancia, comportamiento nucleofílico/electrofílico, espectroscopia y mecanismos de polimerización. Sus explicaciones se volvieron más mecanísticas y detalladas, mostrando que no solo memorizaban, sino que realmente comprendían los procesos químicos.

Escalando la atención personalizada con asistentes inteligentes

Si bien las mini-investigaciones funcionaron bien en su primera implementación, identificamos **un desafío importante: la escalabilidad de la atención personalizada** o, dicho en otras palabras, ¿cómo hacer realidad el sueño que como profesores siempre hemos tenido? Que es **la personalización del aprendizaje.**

Con grupos numerosos de estudiantes divididos en múltiples equipos, cada uno diseñando rutas diferentes, interpretando datos y necesitando retroalimentación específica, **resultaba imposible darles la atención individualizada que requería este enfoque pedagógico.** Y aún más

complicado si quisiéramos llevar esta implementación al espacio individual.

«El clásico problema de la educación: las mejores estrategias pedagógicas requieren atención individualizada, pero tenemos grupos con múltiples estudiantes y tiempo limitado».

Agent Studio es una solución institucional del ecosistema TECgpt

Para abordar este desafío de escalabilidad, estamos explorando el uso de *Agent Studio*, una plataforma del ecosistema TECgpt del Tecnológico de Monterrey que **permite a las y los profesores crear asistentes inteligentes personalizados** sin necesidad de conocimientos avanzados de programación.

Agent Studio forma parte del TECgpt Portal junto con *Skill Studio* y está diseñada específicamente para desarrollar *chatbots* especializados que apoyen **procesos académicos de forma segura, escalable y alineada con la estrategia institucional de innovación educativa**. La plataforma ha sido reconocida en el *ranking Las Más Innovadoras 2025* de Netmedia-IT Masters Mag con una mención especial en la categoría «Democratización de la Inteligencia Artificial», destacando su impacto en educación superior.

Lo interesante de *Agent Studio* es que funciona como una capa de orquestación sobre modelos generativos, integrada directamente a los flujos de trabajo educativos del Tec. **Los asistentes se entrenan con información específica (documentos, recursos internos del curso, páginas web, etc.)**, de modo que puedan responder preguntas contextualizadas, resolver dudas específicas de química orgánica y guiar el razonamiento estudiantil de manera personalizada.

Tres asistentes especializados para las mini-investigaciones

Estamos diseñando tres asistentes especializados que podrían implementarse en futuras iteraciones del curso:

Asistente 1: Tutor de Diseño de Reacciones

Este asistente funcionaría como un tutor personal de química, entrenado específicamente con el contenido del curso de química orgánica, mecanismos de reacción relevantes y estrategias de química verde. **El asistente no daría la respuesta directa**: guiaría el pensamiento del estudiante con preguntas socrático-pedagógicas, tal como lo haría un buen instructor.

Asistente 2: Asistente de Interpretación de Datos

Los espectros asustan a muchos estudiantes. Este asistente ayudaría a los estudiantes a identificar picos en espectros FTIR y RMN, comparar muestras, relacionar cambios estructurales con desempeño del polímero y razonar a través de datos de fotopolimerización. Este tipo de diálogo aumentaría la confianza estudiantil en tareas de interpretación, especialmente fuera del horario de clase cuando el profesor no está disponible.

Asistente 3: Guía de Reflexión Científica

Este asistente fortalecería la metacognición y el pensamiento científico. Ayudaría a los estudiantes a escribir planes pre-actividad, reflexionar sobre conceptos erróneos, identificar errores de razonamiento, proponer nuevos experimentos y conectar aprendizajes con valorización de CO₂. En la siguiente imagen se muestra una recreación de estos tres asistentes.



Figura 3. Diseño conceptual de tres asistentes inteligentes propuestos para las mini-investigaciones. Creación propia, 2025.

No se trata de reemplazar al docente, sino de **amplificar la capacidad de dar atención personalizada a cada estudiante**, en su propio ritmo, disponible cuando lo necesiten. Los asistentes proporcionan soporte bajo demanda, visualización interactiva, razonamiento guiado, retroalimentación personalizada y reflexión estructurada.

La **combinación de mini-investigaciones auténticas con soporte de asistentes inteligentes especializados** podría transformar cómo enseñamos química orgánica en contextos de cursos masivos, manteniendo la autenticidad científica mientras resolvemos el desafío de la atención personalizada.

■ ¿Quieres implementar mini-investigaciones en tu curso?

Si enseñas química orgánica, química general, bioquímica o cualquier materia de ciencias y quieres probar este enfoque, estos son mis consejos prácticos basados en nuestra experiencia:

1. Empieza pequeño

No necesitas transformar todo tu curso de un día para otro. **Elige un tema que sea particularmente abstracto o difícil** (en nuestro caso, mecanismos de reacción y relación estructura-propiedad). Diseña una sola mini-investigación y pruébala. Ajusta. Expande después.

2. Busca investigación local

No necesitas tener tu propio laboratorio de investigación. Pregunta: ¿Qué proyectos se están haciendo en tu institución? ¿En otras universidades cercanas? **Muchos investigadores están dispuestos a compartir datos reales y colaborar en educación.** Alternativamente, busca publicaciones científicas recientes con datos suplementarios disponibles.

3. Los datos reales son clave

No uses datos inventados o «limpiados en exceso». Los estudiantes distinguen entre datos reales y simulados. **La autenticidad es lo que genera engagement.** Pero sí, simplifica cuando lo creas necesario para que sea accesible pedagógicamente.

4. Estructura claramente las tres etapas

Los estudiantes necesitan saber qué se espera de ellos en cada momento:

- **Orientación:** Entender el problema (explora el contexto científico).
- **Diseño:** Proponer soluciones (crea tu ruta de reacción).
- **Análisis:** Interpretar evidencia (conecta datos con predicciones).

Cada etapa tiene objetivos de aprendizaje claros y productos entregables específicos.

Reflexión

La educación tradicional en química orgánica convierte a los estudiantes en espectadores de la ciencia: observan reacciones que el profesor hace en el pizarrón, memorizan reglas, resuelven ejercicios prediseñados. **Las mini-investigaciones los convierten en participantes activos del proceso científico.**

¿Es más trabajo para el profesor? Sí, especialmente en la fase de diseño inicial. ¿Requiere repensar cómo evaluamos y qué valoramos? Absolutamente. Debemos evaluar el proceso de pensamiento científico, no solo la respuesta correcta.

«En el tiempo de la IA lo importante no es el producto final sino el proceso de pensamiento, el proceso cognitivo».

La ciencia no se hace memorizando hechos; **se hace haciendo preguntas, diseñando experimentos, cometiendo errores, interpretando evidencia y construyendo conocimiento.** Si queremos formar a la siguiente generación de científicos, ingenieros y ciudadanos científicamente alfabetizados, necesitamos enseñar ciencia como realmente se practica.

Con mini-investigaciones basadas en datos reales, y potencialmente con el soporte de asistentes inteligentes especializados, podemos hacerlo de manera **escalable, segura y pedagógicamente sólida**, incluso en cursos con recursos limitados.

*«Las mini-investigaciones transforman a los estudiantes de **aprendices pasivos a investigadores activos**. La inspiración en la educación surge cuando creemos en lo que nuestros estudiantes pueden lograr».*

El futuro de la enseñanza de las ciencias no está en transmitir más información, sino en crear experiencias donde los estudiantes hagan ciencia real. Esta implementación en el aula demuestra que es posible comenzar ese camino hoy, a través de herramientas como *Agent Studio* que nos permitirán escalar esta visión en el futuro cercano.

Acerca de los autores

Dr. Saeed Beigboroujeni (saeed.beigi@tec.mx) es profesor-investigador en el Tecnológico de Monterrey, especializado en monómeros derivados de CO₂, polímeros verdes y fotopolimerización. Su investigación se enfoca en el desarrollo de materiales funcionales sustentables.

Dr. Jorge Cruz-Angeles (jecruzangeles@tec.mx) es profesor e investigador en el Tecnológico de Monterrey, especializado en el uso de inteligencia artificial en ciencias. Lidera proyectos de innovación educativa con inteligencia artificial, particularmente en el diseño de sistemas de tutoría inteligente (ITS) para el aprendizaje de ciencias.

Referencias

- Anastas, P. T., & Warner, J. C. (2000). *Green chemistry: Theory and practice*. Oxford University Press.
- Aresta, M., Dibenedetto, A., & Angelini, A. (2014). Catalysis for the valorization of exhaust carbon: From CO₂ to chemicals, materials, and fuels. *Chemical Reviews*, 114(3), 1709–1742. <https://doi.org/10.1021/cr4002758>
- Cooper, M. M., Grove, N., Underwood, S. M., & Klymkowsky, M. W. (2010). Lost in Lewis structures: An investigation of student difficulties in developing representational competence. *Journal of Chemical Education*, 87(8), 869–874.
- Corrigan, N., Yeow, J., Judzewitsch, P., Xu, J., & Boyer, C. (2019). Photocatalysis in organic and polymer synthesis. *Chemical Society Reviews*, 48(18), 7029–7053.
- Du, Y., Wu, W., Xie, D., & Tang, S. (2018). Synthesis of cyclic carbonates from CO₂ and epoxides. *Journal of CO₂ Utilization*, 25, 196–208.
- Freeman, S., Eddy, S. L., McDonough, M., Smith, M. K., Okoroafor, N., Jordt, H., & Wenderoth, M. P. (2014). Active learning increases student performance in science. *PNAS*, 111(23), 8410–8415.
- Maisonneuve, L., Lamarzelle, O., Rix, E., Grau, E., & Cramail, H. (2015). Isocyanate-free routes to polyurethanes. *Chemical Reviews*, 115(22), 12407–12439.
- North, M., Pasquale, R., & Young, C. (2010). Sustainable chemistry: Using CO₂ as a renewable C1 source. *Green Chemistry*, 12(9), 1514–1539.
- Tecnológico de Monterrey. (2025). Así avanza el ecosistema de IA del Tec de Monterrey. *Conecta*, 31 marzo.
- Tecnológico de Monterrey. (2025). Agent Studio, plataforma de IA del Tec, premiada por impacto educativo. *Conecta*, 24 octubre.