

**Las tecnologías digitales en la formación ambiental de estudiantes de Química: análisis crítico y reflexivo**

**Digital technologies in the environmental education of chemistry students: a critical and reflective analysis**

**Autores:**

Esp. Liuska Obaya-Rivero<sup>1</sup>, <https://orcid.org/0000-0002-9180-7269>

Esp. Zoilo Escalante-Lores<sup>1</sup>, <https://orcid.org/0000-0002-5713-9033>

Esp. Yusmila Domínguez-Sánchez<sup>1</sup>, <https://orcid.org/0000-0001-6825-1306>

Lic. Yenilyn González-Pozo<sup>2</sup>, <https://orcid.org/0000-0002-2014-7168>

Lic. Enma Cristina Coss-Belicer<sup>3</sup>, <https://orcid.org/0000-0002-4325-2341>

**Filiación institucional:** <sup>1</sup>Universidad de Guantánamo, Cuba. <sup>2</sup>ESBU Daniel Llosas Preval, Guantánamo, Cuba. <sup>3</sup>IPU Enrique Soto, Guantánamo, Cuba

**Email:** [liuskaobayarivero@gmail.com](mailto:liuskaobayarivero@gmail.com); [zoilo.escalante@gmail.com](mailto:zoilo.escalante@gmail.com); [yusmila@cug.co.cu](mailto:yusmila@cug.co.cu); [yeniglez11@gmail.com](mailto:yeniglez11@gmail.com); [ecosbeliser@gmail.com](mailto:ecosbeliser@gmail.com)

**Fecha de recibido:** 13 de enero de 2026  
**Fecha de aprobado:** 19 de marzo de 2026

**Resumen**

Este artículo analiza el impacto del uso acrítico de tecnologías digitales e inteligencia artificial (IA) en el desarrollo del pensamiento crítico-reflexivo de estudiantes universitarios de Química en su formación ambiental. Propone la integración de acciones pedagógicas, curriculares e institucionales para mitigar este efecto. En este sentido, constituye un marco de acción para lograr una simbiosis efectiva entre el desarrollo cognitivo de orden superior y el uso de las nuevas tecnologías, fortaleciendo así la formación ambiental de los estudiantes de Química.

**Palabras clave:** Pensamiento crítico-reflexivo; Educación ambiental; Inteligencia artificial; Sostenibilidad

**Abstract**

This article analyzes the impact of the uncritical use of digital technologies and artificial intelligence (AI) on the development of critical-reflective thinking in university Chemistry students within their environmental education. It proposes the integration of pedagogical, curricular, and institutional actions to mitigate this effect. Thereby, it establishes a framework for achieving an effective symbiosis between higher-order cognitive development and the use of new technologies, strengthening the environmental education of Chemistry students.

**Keywords:** Critical-reflective thinking; Environmental education; Artificial intelligence; Sustainability

## **Introducción**

Disímiles razones muestran el impacto de la química en el medio ambiente, que van desde la producción de nuevos materiales hasta el tratamiento de residuos sólidos que esta misma ciencia genera. Comprender la importancia de implementar un desarrollo sostenible implica minimizar el daño al entorno. Desde esta postura, es posible fomentar tecnologías verdes que aceleren, en la mente de un químico, la creatividad e innovación en la búsqueda de soluciones (Fernández, 2022).

En este proceso, la educación ambiental proporciona las herramientas que relacionan el trabajo de un químico con las leyes y políticas que protegen el medio ambiente, además de proveerle una perspectiva interdisciplinaria para abordar problemas complejos relacionados con la contaminación y el cambio climático (Pérez, 2019).

En la era digital, las tecnologías de la información prometen potenciar este campo de la educación. Facilitan el acceso a un volumen de información sin precedentes sobre prácticas sostenibles en química ambiental. Las tecnologías digitales en este contexto proporcionan una información más oportuna sobre las mejores prácticas, previendo el impacto antes de llevar a la práctica la información (Castells, 2000; Área & Adell, 2021).

La educación ha dado un salto evolutivo, ofreciendo oportunidades de aprendizaje en educación ambiental que traspasan fronteras y conectan a toda la comunidad social y científica en colaboración a nivel global, permitiendo abordar problemas ambientales a esa escala; todo gracias a las plataformas digitales (Cordón, 2021).

Lograr una simbiosis entre los estudios medioambientales y las tecnologías emergentes, como la inteligencia artificial (en lo adelante, IA), constituye un eje fundamental para dar solución a los desafíos del mundo contemporáneo. En el ámbito de la educación superior, específicamente en carreras como la Química, esta relación adquiere una dimensión crítica. La Química, como ciencia central para el desarrollo social contemporáneo, tiene una incidencia directa y profunda en el medio ambiente. Por ello, la formación de los profesionales de esta disciplina debe trascender la mera transmisión de conocimientos técnicos y procedimentales para fomentar un pensamiento crítico y reflexivo.

Sin embargo, en la era digital se observa una paradoja preocupante que constituye el problema de investigación de este trabajo: “el acceso ilimitado a la información y las poderosas herramientas tecnológicas, que en teoría deberían potenciar el pensamiento crítico y reflexivo, están generando, por un uso excesivo y acrítico, el efecto contrario”. Este efecto crea una dependencia desmedida de las tecnologías digitales (búsquedas inmediatas en internet, softwares de simulación que se usan como "caja negra", calculadoras avanzadas, entre otras) que mella la capacidad de análisis crítico, la reflexión profunda y la construcción autónoma de conocimiento en los estudiantes de Química, déficit manifiesto con particular severidad en el ámbito de la educación ambiental.

En este contexto, el uso pasivo de las tecnologías digitales, en apariencia herramientas de empoderamiento cognitivo, inhibe el desarrollo de las habilidades de razonamiento de orden superior necesarias para enfrentar los complejos desafíos socioambientales, transformándose así en un factor contraproducente para la sostenibilidad.

Este análisis conduce a dos objetivos fundamentales:

1. Analizar el pensamiento crítico-reflexivo en el uso acrítico de la tecnología por parte de estudiantes universitarios de Química en la esfera de educación ambiental.
2. Proponer acciones pedagógicas y curriculares para el uso crítico de la tecnología en la formación ambiental del estudiante universitario de Química.

La relación simbiótica entre la ciencia y la tecnología ha sido el motor de las transformaciones más profundas de la sociedad moderna. Para comprender el contexto actual en el que la tecnología impacta la formación del pensamiento, es imperativo trazar una línea evolutiva que parte de finales del siglo XIX y desemboca en los conceptos emergentes del siglo XXI. Esta evolución paradigmática redefine en cada etapa la capacidad humana para interactuar y transformar su entorno, incluido el medio ambiente, del cual la química es un actor central (Gnaur & Hindhede, 2023).

La Segunda Revolución Industrial (c. 1870-1914) se caracterizó por desarrollos como la química industrial, la síntesis de nuevos materiales y la electrificación, basada en el uso de hidrocarburos. Este proceso, que siguió el patrón descrito por Ortega y Gasset (2019) de un desarrollo técnico acelerado sin una correspondiente reflexión crítica sobre sus fundamentos, comenzó a generar, desde una perspectiva histórica posterior, los primeros problemas ambientales a gran escala, como la contaminación de ríos por desechos industriales.

La Tercera Revolución Industrial o Revolución Digital, iniciada en la segunda mitad del siglo XX con el transistor y el microprocesador, desplazó el centro de gravedad de la tecnología de lo mecánico-analógico a lo digital-informacional (Castells, 2000). La computadora personal e internet transformaron radicalmente el acceso al conocimiento y la comunicación. Para el estudiante de Química, esto significó el acceso inmediato a bases de datos de artículos científicos, software de modelado molecular y calculadoras programables. Este cambio, sin embargo, podría estar alterando la forma de aprender. Como señala Carr (2020), la relación con el conocimiento ha empezado a transitar desde una construcción interna y reflexiva hacia una dinámica de búsqueda y recuperación externa, un fenómeno precursor de lo que él analiza como el 'efecto Google' o la externalización de la memoria.

En la actualidad, este tema se sitúa en la Cuarta Revolución Industrial, caracterizada por la fusión de tecnologías que transitan las fronteras entre lo físico, lo digital y lo biológico. La inteligencia artificial, el internet de las cosas, la biotecnología sintética y el big data definen este nuevo paradigma (Schwab, 2016). Para la Química, esto se traduce en laboratorios automatizados, IA que predice rutas sintéticas y sensores que monitorean la contaminación en tiempo real. El estudiante puede operar un software de simulación compleja sin comprender los principios fisicoquímicos que lo sustentan, confiando ciegamente en el resultado.

En síntesis, la evolución histórica muestra una trayectoria desde una tecnología que amplificaba la capacidad física hacia una que amplifica su uso excesivo y acrítico, que suplanta no solo la capacidad física, sino también la capacidad cognitiva del ser humano. Este recorrido sienta las bases para comprender por qué, en el contexto educativo actual, la tecnología puede convertirse en un arma de doble filo para el desarrollo del pensamiento crítico-reflexivo, tan necesario para una Química ambientalmente responsable.

Para este estudio se consultaron referentes internacionales para una educación transformadora. Por eso, a nivel global, el marco de referencia más comprensivo lo constituye la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, adoptada por la Asamblea General de las Naciones Unidas (ONU) en 2015. Esta agenda, con sus 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), establece un plan de acción a favor de las personas, el planeta y la prosperidad, y reconoce explícitamente el papel central de la ciencia, la tecnología y la innovación para su consecución (Naciones Unidas, 2015).

Tres ODS resultan particularmente relevantes para este trabajo:

- **ODS 4: Educación de Calidad.** Su meta 4.7 exige garantizar que todos los alumnos adquieran los conocimientos teóricos y prácticos necesarios para promover el desarrollo sostenible, entre otras cosas mediante la educación para el desarrollo sostenible y los estilos de vida sostenibles, los derechos humanos, la igualdad de género, la promoción de una cultura de paz y no violencia, la ciudadanía mundial y la valoración de la diversidad cultural y de la contribución de la cultura al desarrollo sostenible (Naciones Unidas, 2015). Esto implica, de manera directa, la formación de un pensamiento crítico que permita a los estudiantes de Química analizar y actuar sobre los complejos problemas socioambientales.
- **ODS 9: Industria, Innovación e Infraestructura.** Este objetivo promueve construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación. Para el químico, esto se traduce en la necesidad de innovar en procesos de Química Verde, diseñando síntesis más eficientes y menos contaminantes. Sin embargo, la mera aplicación tecnológica sin una reflexión crítica sobre su ciclo de vida completo puede resultar en soluciones que generan nuevos problemas (Naciones Unidas, 2015).
- **ODS 12: Producción y Consumo Responsables.** Este objetivo apela directamente a la responsabilidad profesional en el diseño de productos y procesos químicos. Busca lograr la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales, y reducir la generación de desechos mediante actividades de prevención, reducción, reciclado y reutilización (Naciones Unidas, 2015).

La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, 2017) ha enfatizado que la educación para el desarrollo sostenible "debe ir más allá de la simple transmisión de conocimiento. Debe fomentar competencias transversales como el pensamiento crítico y sistémico, la capacidad de resolver problemas complejos y la colaboración". Este marco internacional, por tanto, no solo valora el acceso a la tecnología, sino que subraya la imperiosa necesidad de un enfoque pedagógico crítico y reflexivo para su uso, un principio que se ve directamente amenazado por la instrumentalización pasiva de las herramientas digitales.

### **El pensamiento reflexivo y el uso de las tecnologías digitales**

El desarrollo del escenario actual sobre el pensamiento crítico se enmarca en la entrada acelerada de la digitalización y la irrupción de herramientas de inteligencia artificial generativa (IAG), cuya facilidad de uso presupone una amenaza para la construcción reflexiva del conocimiento.

La pandemia de COVID-19 actuó como un catalizador forzoso de la digitalización de la educación superior a nivel global y, específicamente, en Cuba. Si bien este proceso permitió garantizar la continuidad docente, también exacerbó patrones de uso excesivo y, en muchos casos, acrítico de la tecnología. Las clases en línea, la evaluación a distancia y la dependencia total de recursos digitales consolidaron, según diversos estudios, hábitos de aprendizaje más superficiales en una parte significativa del estudiantado (Hodges et al., 2020; Área & Adell, 2021).

Simultáneamente, la irrupción masiva y la popularización de herramientas de IAG (como ChatGPT, Gemini o Copilot) a partir de 2022 han elevado la apuesta a un nivel cualitativamente nuevo. Estas plataformas no solo recuperan información, sino que son capaces de generar textos coherentes, código de programación, resúmenes e, incluso, resolver problemas químicos con una apariencia de autoridad formal. El riesgo teórico evidente fue previsto por Cassany (2020): el estudiante puede ahora externalizar en el acto mismo de la redacción, síntesis y estructuración del pensamiento, sin necesariamente comprender el contenido generado (Koretz, 2022; Lodge et al., 2023). La tecnología, más que un medio para acceder al conocimiento, se convierte en un agente que puede suplantar el proceso cognitivo de su construcción.

## **Materiales y métodos**

Dada la naturaleza crítica y reflexiva de este estudio, se adoptó un enfoque cualitativo basado en la revisión documental y el análisis teórico. No se realizó trabajo empírico de campo; en su lugar, se procedió de la siguiente manera:

1. **Revisión sistemática de literatura:** Se consultaron bases de datos académicas (Scopus, Google Scholar, Redalyc) utilizando las combinaciones de palabras clave: "pensamiento crítico", "tecnologías digitales", "educación ambiental", "química", "inteligencia artificial". El período de búsqueda abarcó publicaciones entre 2015 y 2025.
2. **Criterios de inclusión:** Se seleccionaron artículos originales, revisiones y capítulos de libro que abordaran la relación entre el uso de tecnologías digitales (incluyendo IA) y el desarrollo de habilidades cognitivas de orden superior en estudiantes de ciencias, particularmente Química y ciencias afines.
3. **Análisis crítico:** Se identificaron patrones de uso acrítico de la tecnología documentados en la literatura y se contrastaron con ejemplos contextualizados en la formación ambiental del químico.
4. **Síntesis propositiva:** A partir del análisis, se formularon acciones pedagógicas, curriculares e institucionales, las cuales se organizaron en una propuesta sistémica.

Esta metodología permitió construir un marco teórico-práctico que fundamenta las conclusiones y recomendaciones del artículo.

## **Resultados y discusión**

### **Ejemplos concretos del uso inadecuado de las tecnologías digitales en la formación del químico**

La problemática del uso excesivo de la tecnología deja de ser una abstracción cuando se analizan casos concretos en el contexto de la formación en Química. Existen ejemplos que evidencian cómo herramientas diseñadas para potenciar el aprendizaje pueden, mediante un uso poco crítico, convertirse en obstáculos para el desarrollo del pensamiento científico y la conciencia ambiental.

Los autores coinciden en que el uso de simuladores virtuales de laboratorio (p. ej., Chem Collective, Labster), pese a sus ventajas pedagógicas, presenta un riesgo bien documentado: pueden fomentar una interacción superficial. El estudiante puede operar el software como una caja negra, introduciendo reactivos y obteniendo resultados sin una comprensión profunda de los mecanismos subyacentes (Pérez, 2019). Este uso acrítico, donde la tecnología sustituye la reflexión, transforma una innovación valiosa en un obstáculo para la construcción de conocimiento científico, un fenómeno también observado en el uso de otras herramientas digitales (Domingo-Coscollola et al., 2020; Gnaur & Hindhede, 2023).

Un estudiante, al utilizar un simulador para estudiar la cinética de una reacción, centra su atención en seguir el protocolo en pantalla y anotar los datos finales de concentración frente al tiempo. El software realiza automáticamente el ajuste de los datos a una ecuación cinética y proporciona la constante de velocidad. Por tanto, el estudiante reporta el valor numérico sin haber interiorizado conceptos fundamentales como: mecanismo de reacción, orden de reacción, dependencia con la temperatura (expresada en la ecuación de Arrhenius) y el papel que desempeñan el resto de los factores en la velocidad de reacción. En consecuencia, se nubla la capacidad de análisis, de formulación de hipótesis sobre por qué una reacción falla, y de comprensión de la relación entre las variables microscópicas (energía de activación) y macroscópicas (velocidad de reacción). En un laboratorio real, este estudiante carecerá de las herramientas cognitivas para diagnosticar problemas y proponer soluciones técnicas al objeto de estudio.

La externalización del pensamiento analizada por Carr (2020) encuentra un campo fértil en la falta de alfabetización informacional. Según Cordón (2021), esta carencia deprecia el uso crítico de las bases de datos y motores de búsqueda. En consecuencia, lo que en teoría es una ventaja investigativa se transforma en una trampa de facilidad: los estudiantes, buscando la vía más rápida, recurren a fuentes de dudosa calidad y replican información de forma automática, sin el filtro de un juicio propio. Así, la tecnología no media el aprendizaje, sino que lo suplanta.

Por ejemplo, un grupo de estudiantes recibe la tarea de investigar los efectos del bisfenol A (BPA) en la salud y el medio ambiente. En lugar de buscar artículos de revisión en bases de datos académicas de alto impacto, realizan una búsqueda superficial en Google. Copian y pegan información de las primeras entradas, que pueden pertenecer a grupos de presión con intereses sesgados o a medios de comunicación que simplifican o sensacionalizan la información. En consecuencia, el trabajo resultante carece de rigor, repite inexactitudes y no presenta una postura crítica fundamentada.

Los autores plantean que el fenómeno de externalización se extiende a la resolución de problemas químicos. La disponibilidad de aplicaciones especializadas (calculadoras gráficas, solucionadores de ecuaciones, asistentes de IA) que muestran paso a paso procedimientos complejos de estequiometría o termodinámica conlleva el riesgo de que el estudiante utilice la herramienta como un fin en sí mismo, y no como un medio para verificar o profundizar su propio razonamiento. Algunos estudios empíricos comienzan a documentar este patrón de uso sustitutivo, donde la tecnología asume el proceso cognitivo central (Fernández, 2022).

Como consecuencia, el estudiante se enfrenta a un problema de equilibrio ácido-base. En lugar de aplicar los principios del equilibrio, escribir la constante de acidez, plantear la ecuación de reacción e interpretar el fenómeno, introduce el problema en una aplicación especializada. La aplicación le devuelve el pH y la concentración de todas las especies en equilibrio. Basta con transcribir la respuesta sin haber comprendido la lógica del problema. Este contraste atrofia la capacidad de diseñar una estrategia de resolución, de traducir un concepto químico a un modelo matemático y de ejercitar el razonamiento deductivo. La resolución de problemas es una gimnasia mental fundamental para el científico; al marginarla por completo, el músculo cognitivo se debilita.

### **Implicaciones para la formación ambiental**

Al trasladar el contexto a la dinámica ambiental, un químico que no comprende profundamente la cinética y la termodinámica de una reacción no podrá optimizarla para reducir el consumo energético (un factor crucial en la huella de carbono de un proceso) ni para minimizar la formación de subproductos no deseados y potencialmente contaminantes, y menos aún entender los mecanismos de interacción del ciclo atmosférico del agua con el medio ambiente.

En tanto, se debilita la capacidad de evaluar la credibilidad de una fuente, de contrastar diferentes perspectivas y de construir un argumento sólido basado en evidencia científica robusta. El estudiante se convierte en un mero receptor de información no filtrada, en lugar de un analista crítico de la misma.

En este orden, la gestión de riesgos químicos y la comunicación científica responsable dependen de una interpretación precisa y crítica de la literatura. Un profesional que puede discriminar entre un estudio riguroso y uno sesgado estará bien preparado; en el sentido opuesto, estará mal preparado para evaluar riesgos ambientales reales o para informar al público de manera responsable, y puede caer en posturas alarmistas infundadas o, por el contrario, en una minimización peligrosa de los riesgos.

Siguiendo el orden de ideas, la capacidad de modelar y predecir el comportamiento de diferentes parámetros que indican contaminación en el ambiente (por ejemplo, el pH de una lluvia ácida o la especiación de un metal pesado en un río) depende de la aplicación robusta de estos mismos principios de equilibrio. No es posible para un químico que no domine estos fundamentos predecir con precisión el impacto ambiental de un vertido y menos diseñar estrategias efectivas de remediación.

Para los autores, los ejemplos argumentados demuestran de manera tangible que el problema no reside en la tecnología en sí, sino en su uso pasivo, no reflexivo y sustitutivo de los procesos cognitivos esenciales. Este patrón de uso, lejos de formar mejores químicos, produce

profesionales con graves deficiencias en su capacidad para pensar de manera autónoma, crítica y sistémica, justo las habilidades que la sociedad necesita para transitar hacia un futuro más sostenible.

En la Tabla 1 se resumen los principales ejemplos de uso inadecuado y sus consecuencias para la formación ambiental.

**Tabla 1 Ejemplos de uso acrítico de tecnologías digitales y sus consecuencias en la formación ambiental del químico**

| <b>Herramienta tecnológica</b>  | <b>Uso acrítico observado</b>                                     | <b>Consecuencia para la formación ambiental</b>  |
|---|---|--|
| Simuladores de laboratorio (Labster, ChemCollective)                  | Operar como "caja negra", sin comprender mecanismos subyacentes   | Incapacidad para optimizar procesos químicos (ahorro energético, reducción de subproductos)    |
| Buscadores web (Google)   | Copiar y pegar información de fuentes no validadas                | Dificultad para evaluar credibilidad de fuentes sobre riesgos ambientales                      |
| Aplicaciones de resolución de problemas (calculadoras, asistentes IA) | Introducir datos y transcribir resultados sin razonar             | Pérdida de capacidad para modelar fenómenos ambientales (lluvia ácida, especiación de metales) |
| IA generativa (ChatGPT, etc.)   | Externalizar redacción, síntesis y estructuración del pensamiento | Ausencia de postura crítica fundamentada en dilemas ético-ambientales                          |

*Fuente:* Elaboración propia a partir del análisis de los autores.

### **Propuestas de acciones para fomentar el pensamiento crítico con el uso de herramientas digitales**

Frente a este panorama, se impone un cambio de paradigma pedagógico e institucional que promueva un sistema integrado para fomentar el pensamiento crítico-reflexivo en la era digital. A partir de este fenómeno social, tecnológico y cultural, se proponen un grupo de acciones a diferentes niveles educativos, surgidas de la reflexión en el curso de la investigación.

#### **Nivel pedagógico**

El primer aspecto a considerar está en el orden pedagógico, donde es posible el diseño de actividades de aprendizaje basado en problemas, proyectos o estudios de casos. Con el aprovechamiento de estos nuevos métodos, se pueden plantear problemas complejos y reales que permitan al estudiante autodiseñar metodologías que garanticen ralentizar o mitigar problemas ambientales, apoyados en el uso de las tecnologías digitales.

En consecuencia, estos métodos deben obligar al estudiante a buscar información en fuentes primarias y evaluarlas críticamente, utilizar software de simulación como un auténtico laboratorio para probar hipótesis y analizar la sensibilidad de las variables, y debatir las implicaciones éticas, económicas y sociales de las distintas soluciones técnicas.

De forma similar, el fomento de la desconexión digital con una reflexión profunda implica destinar tiempos específicos en el currículo de estudio para tareas que requieran concentración

sin dispositivos digitales: lectura pausada de un artículo científico, diseño de un experimento o reflexión individual y grupal sobre un dilema ético-ambiental.

Por otra parte, la integración de la IA como una herramienta de diálogo crítico, en lugar de prohibir su uso, permite diseñar actividades donde su uso sea explícito y sujeto a escrutinio. Sirve de ejemplo el empleo de ChatGPT en la solución de un problema de termodinámica, donde, además de obtener su respuesta, el estudiante identifique y critique los supuestos y posibles errores en dicha solución, o fundamente la metodología usada. También se puede comparar la información sobre un problema ambiental proporcionada por una IA con la de una revisión científica arbitrada y discutir las divergencias.

### **Nivel curricular**

En este componente, una de las oportunidades va dirigida al currículo, donde es posible la inclusión de asignaturas o módulos transversales. Se sugiere la incorporación de asignaturas de currículo propio como: *Ética, Ciencia, Tecnología y Sociedad y Alfabetización Digital Crítica para Químicos*, donde se aborden la historia y filosofía de la ciencia, la evaluación de riesgos, la comunicación científica, y la evaluación de herramientas digitales y de IA de manera responsable en la investigación y el desarrollo profesional.

De la misma manera, se propone la revisión de los instrumentos de evaluación: transitar de evaluaciones que premian la respuesta correcta (fácilmente obtenible mediante tecnología) hacia aquellas que valoran el proceso. Es posible implementar rúbricas que puntúen con precisión la claridad del razonamiento, la originalidad del enfoque, la identificación de supuestos y la calidad de las fuentes bibliográficas, combinadas en evaluaciones orales, defensas de proyectos, trabajos profesionales y portafolios digitales que recojan la evolución del trabajo del estudiante, incluyendo borradores, reflexiones y autoevaluaciones en las que el estudiante deba explicar y justificar sus decisiones y procesos de pensamiento.

### **Nivel institucional**

Al escalar niveles, no deja de ser perceptible el accionar a nivel institucional. En este sentido, se proponen:

- **Capacitación docente continuada:** Implementar programas de formación permanente para el profesorado sobre pedagogías digitales críticas.
- **Foros de debate y cátedras CTS:** Crear espacios regulares (seminarios, talleres, cátedras honoríficas) donde se discutan los grandes desafíos socioambientales y el papel de la Química en su solución; espacios que inviten a profesionales que ejemplifiquen una práctica química crítica y socialmente responsable.
- **Desarrollo de recursos educativos abiertos (REA):** La institución puede apoyar la creación de una biblioteca de simulaciones, estudios de caso y problemas complejos diseñados específicamente para fomentar el pensamiento crítico, evitando así la dependencia de recursos comerciales que a menudo promueven un uso pasivo.

En la Tabla 2 se sintetizan las acciones propuestas por nivel de implementación.

**Tabla 2 Acciones para fomentar el pensamiento crítico-reflexivo con tecnologías digitales en la formación ambiental del químico**

| <b>Nivel</b>  | <b>Acciones específicas</b>   | <b>Ejemplos concretos</b>   |
|---------------|---|---|
| Pedagógico    | Aprendizaje basado en problemas, desconexión digital programada, como diálogo crítico               | Diseñar un plan de remediación para un río contaminado usando simuladores, luego validar sin ellos; comparar respuesta de ChatGPT con artículo científico |
| Curricular    | Asignaturas transversales (CTS, alfabetización digital crítica); evaluación por procesos y rúbricas | Módulo "Ética y tecnología en Química Ambiental"; portafolios de reflexión con borradores y autocrítica   |
| Institucional | Capacitación docente permanente; foros CTS; desarrollo de REA propios                               | Talleres semestrales sobre IA en educación; seminario "Química y Sostenibilidad" con expertos nacionales  |

*Fuente:* Elaboración propia.

La implementación sistémica de estas propuestas no busca demonizar la tecnología, sino reivindicar su papel como una herramienta al servicio de un fin superior: la formación de un químico con juicio propio, ético y reflexivo; un profesional que no solo sepa manipular las herramientas más avanzadas, sino que posea la sabiduría para cuestionar para qué fines deben ser usadas, anticipando sus consecuencias y dirigiendo el poder de la Química hacia la construcción de un futuro genuinamente sostenible. Esto constituye un pilar en la batalla por el pensamiento crítico, una de las metas por alcanzar en el siglo XXI.

## **Conclusiones**

El uso excesivo y acrítico de la tecnología digital constituye un problema social emergente que debilita significativamente el desarrollo del pensamiento crítico-reflexivo, impactando directamente en la calidad de la educación ambiental en la formación química.

Mitigar este efecto negativo requiere una transformación profunda de las estrategias pedagógicas y curriculares, orientadas a formar un profesional que domine las tecnologías digitales, pero que no sea dominado por ellas.

Las propuestas presentadas constituyen un marco de acción concreto para lograr una simbiosis efectiva entre el desarrollo cognitivo de orden superior y el uso de las nuevas tecnologías, fortaleciendo así la formación ambiental de los estudiantes de Química.

## **Bibliografía**

Area, M., & Adell, J. (2021). *Tecnologías digitales y pedagogías post-pandémicas: Retos para la educación superior*. Editorial UOC.

Carr, N. (2020). *Superficiales: ¿Qué está haciendo Internet con nuestras mentes?* Taurus. (Trabajo original publicado en 2010)

- Cassany, D. (2020). *Internet y posverdad: Guía para no perderse en la red*. Anagrama.
- Castells, M. (2000). *La era de la información: Economía, sociedad y cultura. Vol. 1: La sociedad red*. Alianza Editorial.
- Cordón, J. A. (2021). *Alfabetización informacional y competencia digital: Estrategias para la educación superior*. Síntesis.
- Domingo-Coscollola, M., Bosco, A., Carrasco, S., & Sánchez, J. A. (2020). Fostering critical thinking in online learning: The case of virtual laboratories. *Journal of Educational Technology & Society*, 23(4), 105-118.
- Fernández, A. (2022). Uso de aplicaciones de resolución de problemas en química y su impacto en el razonamiento de los estudiantes: Un estudio empírico. *Educación Química*, 33(2), 45-60.
- Gnaur, D., & Hindhede, A. L. (2023). Digital tools as cognitive prostheses in STEM education: A double-edged sword. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 20(1), 15. <https://doi.org/10.1186/s41239-023-00384-8>
- Hodges, C., Moore, S., Lockee, B., Trust, T., & Bond, A. (2020, marzo 27). The difference between emergency remote teaching and online learning. *EDUCAUSE Review*. <https://er.educause.edu/articles/2020/3/the-difference-between-emergency-remote-teaching-and-online-learning>
- Koretz, D. (2022). *The test charade and the coming AI revolution in education*. Harvard University Press.
- Lodge, J. M., Yang, S., Furze, L., & Dawson, P. (2023). Generative AI and the future of higher education assessment. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 48(5), 675-688. <https://doi.org/10.1080/02602938.2023.2187612>
- Naciones Unidas. (2015). *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. Resolución A/RES/70/1. <https://undocs.org/es/A/RES/70/1>
- Ortega y Gasset, J. (2019). *Meditación de la técnica y otros ensayos*. Alianza Editorial. (Obra original publicada en 1939)
- Pérez, M. (2019). Laboratorios virtuales en la enseñanza de la química: Ventajas, limitaciones y riesgos de su uso acrítico. *Revista Iberoamericana de Educación*, 81(1), 33-52.
- Schwab, K. (2016). *La cuarta revolución industrial*. Debate.
- UNESCO. (2017). *Educación para los Objetivos de Desarrollo Sostenible: Objetivos de aprendizaje*. [https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000252423\\_spa](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000252423_spa)