

Vinculación de competencias y evidencia de aprendizaje para la educación en ingeniería en la era de la inteligencia artificial

Hugo Roger Paz

Universidad Nacional de Tucumán, San Miguel de Tucumán, Argentina.
hpaz@herrera.unt.edu.ar

Resumen— La inteligencia artificial generativa ha modificado las condiciones bajo las cuales se produce y evalúa el trabajo académico en educación superior. En ingeniería, donde la resolución de problemas ha funcionado históricamente como evidencia de comprensión, esta transformación exige redefinir qué competencias deben observarse y cómo deben evaluarse. Este artículo propone un marco conceptual-metodológico para vincular competencias y evidencia de aprendizaje en la educación en ingeniería en la era de la inteligencia artificial. El marco se construyó mediante una síntesis conceptual estructurada de literatura sobre evaluación, aprendizaje e inteligencia artificial, seguida por la identificación de constructos recurrentes, su agrupación en dimensiones competenciales y su operacionalización en criterios de desempeño. A partir de la noción de modelización aumentada, se identifican seis dimensiones evaluables: formulación del problema, explicitación de supuestos, representación y modelización, mediación tecnológica crítica, validación de resultados y juicio profesional. Se presenta una rúbrica general, estrategias de diseño evaluativo y ejemplos transferibles. Se concluye que el rigor formativo no desaparece con la automatización; se desplaza hacia la justificación, la validación y la responsabilidad epistemológica.

Palabras clave— educación en ingeniería, inteligencia artificial generativa, evidencia de aprendizaje, competencias, evaluación, modelización aumentada.

Recibido: 3 de julio de 2026. Revisado: 7 de julio de 2026. Aceptado: 28 de julio de 2026.

Linking Skills and Learning Evidence for Engineering Education in the Age of Artificial Intelligence

Abstract— Generative artificial intelligence has changed the conditions under which academic work is produced and assessed in higher education. In engineering education, where problem solving has traditionally operated as evidence of understanding, this transformation requires a reconsideration of which competencies should be observed and how they should be assessed. This theoretical-methodological article proposes a competency framework for learning evidence in engineering education in the age of artificial intelligence. The framework was developed through a structured conceptual synthesis of literature on assessment, learning, and artificial intelligence, followed by the identification of recurring constructs, their grouping into competency dimensions, and their operationalization as performance criteria. Based on the notion of augmented modelling, six assessable dimensions are identified: problem formulation, explicit assumptions, representation and modelling, critical technological mediation, validation of results, and professional judgment. The paper presents a general rubric, assessment design strategies, and transferable examples. It concludes that academic rigor does not disappear with automation; rather, it shifts toward justification, validation, and epistemological responsibility.

Keywords— engineering education, generative artificial intelligence, learning evidence, competencies, assessment, augmented modelling.

1 Introducción

La educación en ingeniería se ha organizado, durante décadas, alrededor de una premisa pedagógica fuerte: quien resuelve correctamente un problema técnico demuestra, al menos en una medida razonable, que comprende los conceptos, procedimientos y criterios que sostienen esa resolución. Esa premisa no fue arbitraria. En un contexto donde el cálculo, la manipulación simbólica y la construcción de procedimientos constituían recursos cognitivos escasos, la ejecución correcta funcionaba como una evidencia aceptable de aprendizaje.

La irrupción de sistemas de inteligencia artificial generativa altera esa relación. Los modelos actuales pueden producir respuestas plausibles, resolver problemas estructurados, generar explicaciones paso a paso, sugerir modelos y redactar informes técnicos con un nivel de corrección suficiente para superar el umbral de muchas evaluaciones universitarias. La consecuencia no es que la comprensión haya dejado de importar, sino que el producto final y la ejecución observable ya no permiten inferirla con la misma confianza que en el contexto pedagógico anterior.

Este cambio no debe interpretarse como un problema meramente tecnológico. La cuestión de fondo es evaluativa y epistemológica: ¿qué constituye evidencia válida de aprendizaje cuando una parte sustantiva de la ejecución puede ser asistida externamente? La literatura reciente advierte que la inteligencia artificial generativa obliga a revisar los criterios de autoría, integridad, trazabilidad y validez evaluativa en educación superior [1]-[3]. En paralelo, estudios sobre aprendizaje con inteligencia artificial muestran que el aumento del desempeño durante la práctica no siempre se traduce en aprendizaje transferible, especialmente cuando la herramienta funciona como sustituto del esfuerzo cognitivo y no como mediación formativa [4]-[6].

En ingeniería, esta discusión adquiere una relevancia particular. Las asignaturas de ciencias básicas y tecnologías aplicadas suelen evaluar competencias mediante ejercicios, informes técnicos, proyectos y problemas de diseño. Muchos de esos formatos fueron concebidos para un entorno donde resolver implicaba necesariamente haber transitado el procedimiento. En la actualidad, esa equivalencia se debilita. Por ello, la pregunta central ya no es si se debe permitir o

prohibir el uso de inteligencia artificial, sino qué tipo de desempeño permite demostrar comprensión cuando las herramientas están disponibles y forman parte del entorno cognitivo real de los estudiantes.

La especificidad ingenieril del marco reside en que estas evidencias se vinculan con prácticas constitutivas de la profesión: formular problemas bajo restricciones, representar fenómenos físicos o sistemas técnicos, justificar supuestos, validar resultados mediante criterios dimensionales y de plausibilidad, y asumir responsabilidad sobre decisiones con consecuencias de seguridad, funcionamiento, costo y sostenibilidad. Por ello, aunque algunas estrategias evaluativas puedan ser transferibles a otros campos, las dimensiones propuestas se organizan aquí desde la naturaleza del razonamiento y del juicio profesional propios de la ingeniería.

Este artículo propone un marco competencial para redefinir la evidencia de aprendizaje en la educación en ingeniería. El trabajo parte de la noción de modelización aumentada, entendida como una reconfiguración del aprendizaje ingenieril en la cual la ejecución formal puede estar mediada por herramientas digitales, pero la responsabilidad epistemológica permanece en el estudiante [7]. A diferencia de un enfoque centrado en una asignatura o experiencia particular, la propuesta se presenta como un marco general aplicable a distintos espacios curriculares de ingeniería. El objetivo del artículo es doble. En primer lugar, operacionalizar la modelización aumentada mediante dimensiones observables que permitan diseñar actividades y evaluar aprendizajes. En segundo lugar, ofrecer una rúbrica general que ayude a distinguir entre desempeño procedimental, desempeño analítico, desempeño estructural y desempeño propiamente aumentado. El argumento central sostiene que el rigor académico no desaparece con la automatización; se desplaza desde la dificultad operativa hacia la formulación, la justificación, la validación y la responsabilidad profesional.

La construcción del marco siguió una ruta de síntesis conceptual estructurada, apropiada para trabajos cuyo propósito es integrar conceptos dispersos y convertirlos en una arquitectura analítica coherente [20], [21]. No se trató de una revisión sistemática ni de un estudio empírico de validación. La literatura fue utilizada como base de fundamentación y contraste para identificar conceptos recurrentes relacionados con evidencia de aprendizaje, evaluación, modelización, mediación tecnológica, validación y juicio profesional.



Figura 1. Ruta de construcción del marco conceptual-metodológico.
Fuente: elaboración propia.

El procedimiento se desarrolló en cuatro etapas: (1) delimitación del problema evaluativo y del corpus conceptual pertinente; (2) identificación y comparación de constructos recurrentes; (3) síntesis de esos constructos en seis dimensiones competenciales; y (4) operacionalización de las dimensiones mediante descriptores de desempeño, una rúbrica general, estrategias de diseño evaluativo y ejemplos transferibles. La Figura 1 resume esta secuencia y hace explícita la relación entre fundamentación teórica y propuesta operativa.

2 Problema teórico: de la ejecución correcta a la evidencia de aprendizaje

La evaluación en ingeniería ha privilegiado históricamente la resolución de problemas. Esta tradición tiene una legitimidad clara: la ingeniería se ocupa de modelar fenómenos, transformar condiciones, dimensionar sistemas y justificar decisiones bajo restricciones físicas, económicas, normativas y de seguridad. Resolver problemas no es un adorno didáctico; constituye una forma central de pensar la disciplina.

Sin embargo, resolver un problema no siempre equivale a comprenderlo. La diferencia era menos visible cuando la producción de la solución exigía de manera inevitable el trabajo cognitivo del estudiante. La inteligencia artificial generativa hace visible una tensión que ya existía: es posible producir una respuesta formalmente aceptable sin haber construido una comprensión suficiente de los supuestos, límites y consecuencias de la solución.

Esta situación puede describirse como una pérdida parcial del poder discriminante de la ejecución. Un formato evaluativo pierde poder discriminante cuando deja de distinguir con suficiente confiabilidad entre quien comprende y quien solo produce un resultado plausible. La pérdida no afecta por igual a todas las actividades, pero es especialmente relevante en tareas de bajo contexto, ejercicios estándar, informes de entrega única y preguntas que admiten respuestas genéricas.

La respuesta institucional no puede limitarse a detectar uso de inteligencia artificial. Los detectores son técnicamente inestables y, más importante aún, responden a una pregunta distinta de la pregunta educativa central. Saber si una herramienta intervino en la producción no equivale a saber si el estudiante comprende. En este punto, la discusión sobre integridad académica debe integrarse con una discusión más amplia sobre diseño evaluativo, trazabilidad y evidencia [1], [8].

La noción de evidencia de aprendizaje permite reorganizar el problema. La evaluación no debería preguntarse solamente qué produjo el estudiante, sino que permite inferir ese producto sobre su comprensión, juicio, autonomía y responsabilidad técnica. En un entorno con inteligencia artificial, la evidencia robusta no puede descansar únicamente en el resultado final. Debe incluir el proceso de formulación, la explicitación de supuestos, la selección del modelo, la interpretación del resultado y la capacidad de defender las decisiones adoptadas.

Este desplazamiento no implica abandonar la enseñanza de procedimientos ni reducir la exigencia matemática. Por el

contrario, exige fundamentos más sólidos. Un estudiante solo puede validar críticamente una salida asistida por inteligencia artificial si comprende los principios que la sostienen. La diferencia es que la destreza procedimental deja de ser el único núcleo de la evaluación y pasa a integrarse dentro de una arquitectura más amplia de competencias.

3 Modelización aumentada como marco de reconstrucción

La modelización aumentada se entiende aquí como un proceso formativo en el cual el estudiante formula problemas de ingeniería, explicita supuestos, construye o selecciona modelos, utiliza herramientas digitales o sistemas de inteligencia artificial como mediaciones controladas, valida críticamente los resultados y asume responsabilidad sobre la decisión técnica final.

La categoría no equivale a “usar inteligencia artificial” ni a reemplazar el cálculo por automatización. Su punto central es reubicar el aprendizaje en aquello que no puede delegarse sin pérdida formativa.

El aprendizaje, en sentido estricto, siempre lo realiza el estudiante. El docente no aprende por él ni puede transferir comprensión como si se tratara de un contenido terminado. El docente orienta, estructura, desafía, acompaña, retroalimenta y valida. Esta distinción es clave para evitar un malentendido frecuente: aumentar la responsabilidad cognitiva del estudiante no supone abandonar la enseñanza ni trasladar al estudiante una carga que antes correspondía al docente. Supone reconocer que la comprensión solo se construye mediante actividad intelectual propia, aun cuando esa actividad esté mediada por herramientas y acompañamiento docente.

La modelización aumentada, por tanto, no reduce el rol docente; lo vuelve más exigente. El docente debe diseñar situaciones en las que el estudiante no pueda limitarse a obtener una respuesta, sino que deba mostrar cómo delimitó el problema, por qué eligió determinados supuestos, cómo evaluó la pertinencia del modelo y de qué modo verificó la razonabilidad de los resultados. La mediación docente pasa de controlar la ejecución a diseñar evidencia de comprensión.

Esta perspectiva se alinea con enfoques constructivistas y de aprendizaje significativo: la comprensión no se reduce a repetir procedimientos, sino que implica reorganizar relaciones conceptuales y aplicarlas a situaciones nuevas [9], [10]. También dialoga con los enfoques de alineamiento constructivo y evaluación por competencias, en tanto exige coherencia entre resultados esperados, actividades de aprendizaje y criterios evaluativos [11].

La inteligencia artificial no elimina esta tradición; la obliga a actualizarla. Si una herramienta puede resolver una parte operativa del problema, entonces el diseño didáctico debe desplazar la evidencia hacia el juicio que gobierna esa operación. La pregunta relevante no es si el estudiante usó una herramienta, sino si puede justificar, interpretar y validar aquello que produjo con o sin asistencia.

4 Principios de operacionalización

4.1. Primacía de la formulación

La primera evidencia de comprensión no es la respuesta, sino la formulación del problema. Formular implica identificar el fenómeno, delimitar el sistema, reconocer variables relevantes, distinguir datos de incógnitas, establecer restricciones y traducir una situación técnica a una estructura tratable. En ingeniería, una mala formulación puede conducir a una solución formalmente correcta pero técnicamente inválida.

4.2. Explicitación de supuestos

Todo modelo descansa sobre supuestos. En contextos de IA, estos supuestos pueden quedar ocultos detrás de una respuesta fluida y aparentemente completa. Por ello, una evaluación robusta debe exigir que el estudiante declare qué idealizaciones adopta, qué condiciones de validez reconoce, qué simplificaciones acepta y qué consecuencias tendrían esas decisiones sobre el resultado.

4.3. Representación y modelización

La modelización no consiste únicamente en aplicar una ecuación. Incluye seleccionar el marco conceptual pertinente, construir una representación, decidir escalas, elegir condiciones de borde, identificar parámetros y establecer relaciones entre variables. Esta dimensión conserva la centralidad de la matemática, pero la entiende como lenguaje de representación y no solo como técnica de manipulación.

4.4. Mediación tecnológica crítica

La inteligencia artificial y otras herramientas digitales pueden participar legítimamente en el proceso de aprendizaje y resolución. La competencia relevante no es prescindir de ellas, sino usarlas con criterio: formular consultas pertinentes, reconocer límites, contrastar salidas, documentar intervenciones y evitar la aceptación acrítica de respuestas plausibles. La herramienta no debe gobernar el razonamiento; debe quedar subordinada al juicio del estudiante.

4.5. Validación de resultados

La validación es una dimensión central de la comprensión ingenieril. Incluye verificar unidades, magnitudes, órdenes de grandeza, coherencia física, sensibilidad a supuestos, consistencia con casos límite y pertinencia técnica. En un entorno de automatización, validar deja de ser una operación secundaria y se convierte en evidencia principal de aprendizaje.

4.6. Juicio profesional y responsabilidad

La ingeniería no produce solamente respuestas; produce decisiones con consecuencias. Por ello, la evaluación debe incluir la capacidad de argumentar recomendaciones,

reconocer incertidumbres, comunicar límites y asumir responsabilidad sobre el uso de modelos y herramientas. La responsabilidad profesional no puede delegarse en una salida generada por inteligencia artificial.

5 Marco competencial propuesto

En la tabla siguiente se presenta el marco de competencia propuesto.

Tabla 1
Marco competencial de la modelización aumentada

Dimensión	Descripción	Evidencias posibles
Formulación del problema	Delimita el sistema, identifica variables, datos, restricciones y objetivo técnico.	Planteo inicial, esquema conceptual, definición del problema, preguntas justificadas.
Supuestos y condiciones de validez	Explicita idealizaciones, hipótesis, rangos de aplicación y limitaciones.	Lista argumentada de supuestos, análisis de alcance, justificación de simplificaciones.
Representación y modelización	Selecciona modelos, ecuaciones, diagramas, parámetros y condiciones de borde pertinentes.	Modelo matemático o computacional, esquema de resolución, trazabilidad de decisiones.
Mediación tecnológica crítica	Usa herramientas digitales o IA de manera documentada, supervisada y contrastada.	Registro de uso, comparación de salidas, identificación de errores o límites de la herramienta.
Validación e interpretación	Verifica razonabilidad, unidades, sensibilidad, coherencia física y significado técnico.	Controles de consistencia, análisis de resultados, interpretación contextualizada.
Juicio profesional	Formula conclusiones, recomendaciones y advertencias con responsabilidad técnica.	Informe argumentado, defensa oral, decisión justificada, reconocimiento de incertidumbre.

Fuente: elaboración propia.

La Figura 2 sintetiza el marco competencial: la modelización aumentada como principio organizador y las seis dimensiones a través de las cuales esa competencia se vuelve observable y evaluable en ingeniería.

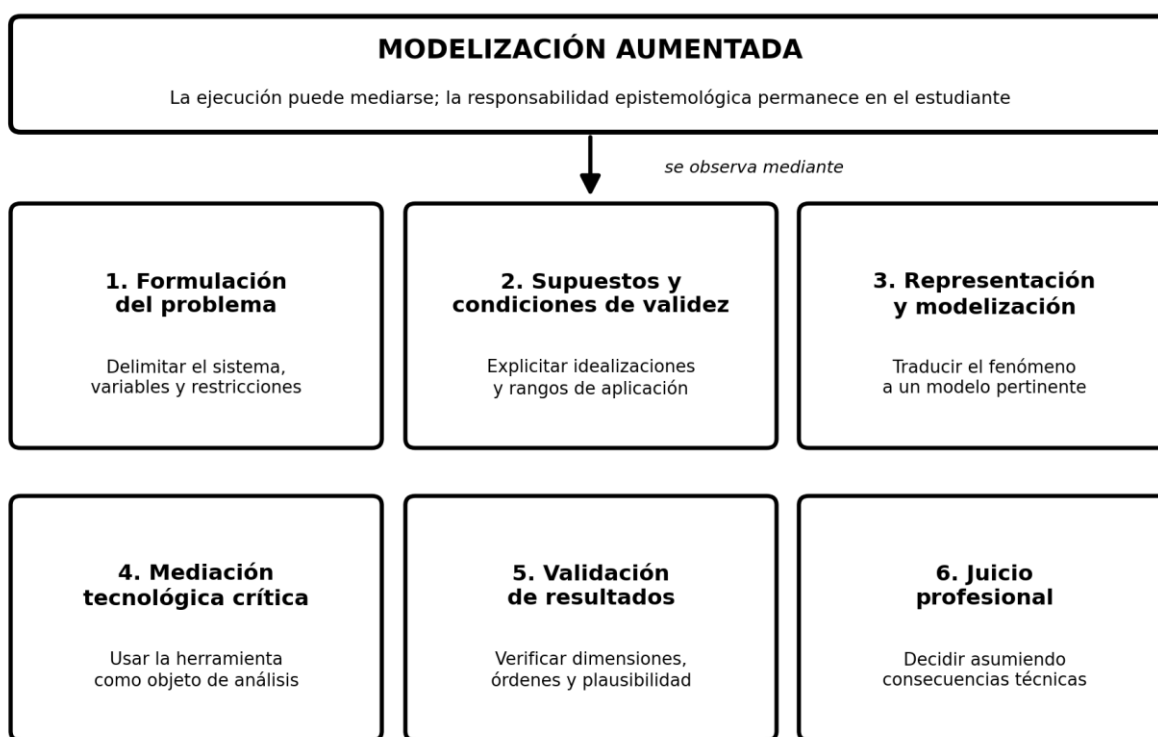


Figura 2. Marco competencial: modelización aumentada y sus seis dimensiones evaluables.
Fuente: elaboración propia.

6 Rúbrica general de desempeño

La rúbrica siguiente traduce el marco competencial en cuatro niveles de desempeño. Su propósito no es sustituir

rúbricas específicas de cada asignatura, sino ofrecer una matriz general para diseñarlas. Los niveles permiten diferenciar entre una resolución meramente procedimental y una actuación aumentada en la que el estudiante conserva control conceptual, crítico y profesional sobre el proceso.

Tabla 2
Rúbrica general de desempeño

Dimensión	Nivel 1: Procedimental	Nivel 2: Analítico	Nivel 3: Estructural	Nivel 4: Aumentado
Formulación del problema	Reproduce el enunciado o identifica datos sin delimitar el sistema.	Reconoce objetivo, datos e incógnitas principales, con delimitación parcial.	Formula el problema con claridad, define variables y restricciones relevantes.	Reformula críticamente el problema, reconoce ambigüedades, condiciones de aplicabilidad y alternativas de encuadre.
Supuestos	No explicita supuestos o adopta hipótesis incompatibles.	Menciona supuestos básicos pero sin justificar alcance ni consecuencias.	Justifica supuestos pertinentes y reconoce limitaciones principales.	Evalúa supuestos alternativos, analiza sensibilidad conceptual y explicita riesgos de extrapolación.
Modelización	Aplica una ecuación o procedimiento sin justificar pertinencia.	Selecciona un modelo adecuado pero con trazabilidad incompleta.	Construye un modelo coherente y trazable, articulado con el fenómeno.	Integra modelo, herramienta y criterio técnico; compara alternativas y justifica decisiones de representación.
Uso de IA o herramientas	Usa herramientas de manera opaca o acepta salidas sin control.	Usa herramientas para apoyo operativo con documentación limitada.	Documenta usos, contrasta resultados y conserva control del proceso.	Integra críticamente herramientas como mediación; identifica errores, sesgos, límites y aporta validación independiente.
Validación	No verifica unidades, magnitudes ni coherencia del resultado.	Realiza controles básicos pero incompletos o mecánicos.	Valida resultados mediante unidades, órdenes de magnitud, casos límite y coherencia física.	Desarrolla validación crítica robusta, incluyendo sensibilidad, incertidumbre y consecuencias técnicas.
Juicio profesional	Presenta una respuesta final sin interpretación ni responsabilidad.	Interpreta parcialmente y formula conclusiones genéricas.	Formula conclusiones técnicas justificadas y vinculadas con el problema.	Defiende una decisión profesional, reconoce límites, comunica incertidumbre y asume responsabilidad sobre el uso del modelo.

Fuente: elaboración propia.

7 Diseño de actividades evaluativas

La rúbrica anterior requiere actividades que obliguen al estudiante a producir evidencia más allá del resultado final. No basta con agregar una pregunta sobre el uso de IA al final de una tarea tradicional. El diseño debe desplazar el centro de la actividad hacia operaciones que expresen comprensión: formular, justificar, interpretar, validar y defender.

Una primera estrategia consiste en diseñar consignas de formulación. En lugar de entregar todos los datos organizados y pedir la aplicación de un procedimiento, se presenta una situación técnica con información incompleta, redundante o ambigua. El estudiante debe delimitar el problema, identificar qué datos necesita, justificar qué supuestos adopta y explicar qué modelo resultaría pertinente. Esta actividad evalúa comprensión antes de la ejecución.

Una segunda estrategia es la consigna de segundo orden. En este formato, el estudiante recibe una solución generada, una salida de software, un informe preliminar o una respuesta hipotética y debe evaluarla críticamente. Debe identificar errores, supuestos ocultos, inconsistencias, limitaciones y mejoras posibles. Esta modalidad resulta especialmente apropiada para un entorno con IA porque convierte la salida automatizada en objeto de análisis, no en sustituto del aprendizaje.

Una tercera estrategia es el portafolio de proceso. En proyectos o trabajos prolongados, el estudiante documenta decisiones, cambios de modelo, consultas realizadas, intervención de herramientas, errores detectados y criterios de validación. La trazabilidad no se entiende aquí como vigilancia burocrática, sino como evidencia de razonamiento. Permite observar cómo evolucionó la comprensión y qué decisiones fueron adoptadas en cada etapa.

Para evitar que la trazabilidad se convierta en una carga burocrática, su evaluación debe ser selectiva y orientada por criterios. No es necesario revisar exhaustivamente cada interacción con la herramienta ni reconstruir todo el historial de trabajo. Basta con solicitar una bitácora breve que registre decisiones críticas: formulación inicial del problema, supuestos adoptados, consultas relevantes realizadas a la herramienta, cambios introducidos a partir de la revisión, errores detectados y justificación de la versión final. El docente puede evaluar esa bitácora mediante muestreo focalizado, priorizando la coherencia entre decisión, fundamento y resultado. Así, la trazabilidad deja de ser vigilancia documental y se convierte en evidencia compacta de gestión del proceso cognitivo.

Una cuarta estrategia es la defensa oral focalizada. La oralidad recupera valor no como interrogatorio memorístico, sino como instancia breve de verificación de comprensión. Preguntas sobre supuestos, alternativas, interpretación de resultados o sensibilidad del modelo permiten distinguir entre producción plausible y dominio conceptual. Para ser justa, la defensa debe estar vinculada a criterios explícitos y no depender de la improvisación del evaluador.

Una quinta estrategia consiste en problemas de transferencia. Se toma un problema resuelto o estudiado previamente y se modifican condiciones relevantes: escala, restricciones, objetivo de diseño, criterio de seguridad, disponibilidad de datos o contexto profesional. El estudiante debe explicar qué cambia, qué se conserva y cómo se adapta el modelo. La transferencia es una evidencia fuerte de aprendizaje porque obliga a reconstruir el conocimiento en una situación nueva.

Las cinco estrategias comparten una misma lógica de diseño, que la Fig. 3 representa como un ciclo: la consigna

tradicional se reformula para exigir formulación y supuestos, esa reformulación genera evidencia observable, y esa

evidencia se interpreta mediante los criterios de la rúbrica, que a su vez redefinen la consigna del ciclo siguiente.

DISEÑO DE ACTIVIDADES EVALUATIVAS

Del resultado final a la evidencia de comprensión



Figura 3. Ciclo de diseño de actividades evaluativas orientadas por modelización aumentada.
Fuente: elaboración propia.

Tabla 3

Transformación de una consigna tradicional hacia una actividad de modelización aumentada

Componente	Enfoque tradicional	Enfoque de modelización aumentada
Objeto evaluado	Obtención del resultado numérico correcto.	Calidad de la formulación, identificación de supuestos y validación crítica.
Uso de IA o software	Ausente, prohibido o irrelevante para la consigna.	La salida automatizada se transforma en objeto de auditoría técnica.
Evidencia de aprendizaje	Secuencia de cálculo y valor final.	Justificación de decisiones, controles de consistencia, corrección del modelo y defensa del criterio adoptado.
Riesgo evaluativo principal	Premiar ejecución mecánica sin comprensión estructural.	Convertir la evaluación en burocracia si no se focaliza en decisiones críticas.

Fuente: elaboración propia.

8 Ejemplos ilustrativos transferibles

Los siguientes ejemplos no corresponden a una asignatura específica ni pretenden funcionar como casos empíricos. Son esquemas transferibles que muestran cómo el marco puede aplicarse en distintos dominios de la educación en ingeniería. Su función es ilustrar tipos de evidencia, no reportar resultados de implementación. Para aumentar su valor metodológico, se incluye una viñeta desarrollada de actividad didáctica que muestra el tránsito desde una consigna tradicional hacia una consigna orientada por modelización aumentada.

8.1 Ejemplo para mecánica de fluidos o hidráulica

Se entrega una salida de cálculo o simulación sobre un sistema de conducción. El estudiante debe identificar supuestos, verificar unidades, discutir pérdidas consideradas y omitidas, evaluar si el resultado es físicamente razonable y proponer datos adicionales necesarios para una decisión de diseño.

- La viñeta de actividad didáctica se denomina de la resolución a la validación crítica
- La consigna tradicional es calcular la pérdida de carga en una conducción a presión a partir de datos geométricos, caudal, rugosidad y propiedades del fluido; seleccionar la ecuación de cálculo, desarrollar el procedimiento y obtener el valor final.
- La consigna rediseñada: se entrega al estudiante una solución preliminar generada por una herramienta digital o por un asistente de inteligencia artificial. La solución incluye el resultado numérico, el procedimiento empleado y una recomendación de diseño. Sin embargo, contiene al menos un supuesto discutible u oculto, por ejemplo: régimen de flujo no verificado, uso automático de una rugosidad no justificada, omisión de pérdidas localizadas o extrapolación de una expresión fuera de su dominio de validez. El estudiante no debe repetir el cálculo completo como tarea principal; debe auditar la solución, identificar el supuesto crítico, verificar la razonabilidad física del

resultado, proponer correcciones y defender una recomendación técnica final.

8.2 Otros ejemplos

Estructuras. Se presenta un pre dimensionado preliminar de una viga o pórtico. El estudiante debe analizar hipótesis de apoyo, cargas consideradas, criterios de seguridad, coherencia de esfuerzos y límites de aplicabilidad del modelo lineal utilizado.

Transporte. Se plantea una intervención vial con datos parciales de demanda. El estudiante debe formular el problema, justificar indicadores, reconocer incertidumbre, proponer un modelo de evaluación y discutir consecuencias de distintas alternativas.

Termodinámica o energía. Se entrega al estudiante un balance energético asistido por herramienta digital. El estudiante debe validar signos, unidades, hipótesis de régimen, pérdidas omitidas y plausibilidad de rendimientos. La calificación no se centra solo en el número final, sino en la consistencia del razonamiento.

Ingeniería ambiental. En el contexto del análisis de una propuesta de tratamiento o mitigación, el estudiante debe distinguir datos medidos, supuestos regulatorios, criterios de diseño, incertidumbre y efectos no considerados por el modelo inicial.

9 Relación con la evaluación y la autonomía del aprendizaje

El marco propuesto se vincula con dos problemas complementarios: la evaluación y la autonomía del aprendizaje. En evaluación, la preocupación central es que el producto final ya no constituye evidencia suficiente cuando puede ser producido o fuertemente asistido por IA. Por ello, se requieren instrumentos que hagan visible el razonamiento, la trazabilidad y la validación [12], [13].

En autonomía del aprendizaje, el problema es distinto pero relacionado. Un estudiante puede usar IA con sensación de eficiencia y, sin embargo, construir una comprensión débil si delega operaciones cognitivas constitutivas del aprendizaje. La literatura reciente sobre dependencia, carga metacognitiva e ilusión de competencia muestra que la asistencia no estructurada puede mejorar el desempeño inmediato sin fortalecer el aprendizaje transferible [4]-[6], [16].

La solución no es prohibir el uso de herramientas. La solución es enseñar a distinguir entre asistencia legítima y sustitución cognitiva. La IA puede apoyar explicación, contraste, práctica, retroalimentación preliminar y exploración de alternativas. Pero no debe reemplazar el primer intento de comprensión, la formulación propia del problema, la validación crítica ni la responsabilidad final sobre lo producido. Esta distinción ha sido desarrollada en trabajos previos sobre evaluación, exámenes y estudio con IA [12]-[14].

En este sentido, el marco competencial no solo sirve para evaluar. También sirve para enseñar. Cada dimensión de la

rúbrica puede convertirse en una actividad de aprendizaje: formular problemas, explicitar supuestos, revisar salidas, defender decisiones, comparar modelos y validar resultados. La evaluación deja de ser un momento externo al aprendizaje y se convierte en una forma de hacerlo visible.

10 Implicancias curriculares

La adopción del marco propuesto tiene implicancias para el diseño curricular en ingeniería. La primera es que las competencias de formulación, validación y juicio profesional no deberían quedar reservadas para los tramos finales de la carrera. Si la automatización afecta desde temprano la forma en que los estudiantes resuelven y producen trabajos, entonces la alfabetización crítica en herramientas, supuestos y evidencia debe comenzar en las asignaturas iniciales.

La segunda implicancia es que las ciencias básicas no deben defender su relevancia exclusivamente por la dificultad operativa. Su valor formativo reside en enseñar lenguajes de representación, estructuras de razonamiento, criterios de validez y formas de modelar fenómenos. Este valor se vuelve más importante, no menos, cuando la ejecución puede ser asistida. Sin fundamentos, no hay validación crítica posible.

La tercera implicancia es que las rúbricas deben dejar de evaluar solo producto, presentación y corrección. Deben incorporar indicadores de formulación, supuestos, trazabilidad, uso crítico de herramientas y validación. Esto no implica burocratizar toda actividad, sino diseñar evidencias proporcionales al nivel de riesgo formativo de cada tarea.

La cuarta implicancia es institucional. Las universidades no pueden limitarse a políticas generales de integridad o prohibición. Necesitan marcos pedagógicos que orienten a docentes y estudiantes sobre qué usos son formativos, qué usos son problemáticos, qué evidencias son válidas y cómo se asigna responsabilidad en producciones asistidas.

11 Limitaciones y agenda de investigación

Este artículo presenta un marco conceptual-metodológico y no un estudio empírico de validación. Su alcance es propositivo: organiza dimensiones, criterios y niveles de desempeño para orientar el diseño de actividades y evaluaciones en ingeniería. Por ello, sus afirmaciones deben ser sometidas a estudios posteriores de implementación, confiabilidad de rúbricas, validez de constructo y efectos sobre el aprendizaje.

Esta ausencia de validación experimental es una limitación deliberada de alcance y no un supuesto de suficiencia: el trabajo se propone construir el instrumento conceptual que la validación posterior requiere, dado que no es posible contrastar empíricamente dimensiones y descriptores que aún no han sido definidos de manera operacional. En consecuencia, las afirmaciones del artículo deben leerse como hipótesis de diseño evaluativo, no como resultados verificados en aula.

El protocolo de validación previsto contempla cuatro componentes. Primero, un estudio de confiabilidad inter evaluador sobre un conjunto común de producciones estudiantiles calificadas de manera independiente por varios

docentes tras una instancia de calibración, estimando la concordancia mediante coeficientes apropiados para datos ordinales, como el alfa de Krippendorff o el kappa ponderado. Segundo, un análisis de validez de constructo que examine si las seis dimensiones se comportan como factores diferenciables y no redundantes. Tercero, un contraste cuasiexperimental entre comisiones que utilicen consignas tradicionales y comisiones que utilicen consignas orientadas por modelización aumentada, con atención a la calidad de la formulación, la explicitación de supuestos y el desempeño en problemas de transferencia. Cuarto, un seguimiento longitudinal que permita observar si esos desempeños se sostienen a lo largo de la trayectoria curricular.

Una primera línea de investigación debería analizar la confiabilidad inter evaluador de la rúbrica propuesta. Si el marco pretende ser útil institucionalmente, distintos docentes deberían poder aplicarlo con niveles razonables de consistencia. Una segunda línea debería evaluar su efecto sobre la calidad de las producciones estudiantiles, comparando tareas tradicionales con tareas rediseñadas bajo criterios de modelización aumentada.

Un diseño piloto inicial podría implementarse en un departamento o área disciplinar específica. En una primera fase, tres o más docentes calificarían de manera independiente un conjunto común de producciones estudiantiles mediante la rúbrica general, luego de una instancia breve de calibración. En una segunda fase, se estimaría la consistencia inter evaluador y se analizarían las discrepancias por dimensión de competencia, con el fin de ajustar descriptores, pesos y ejemplos de desempeño. En una tercera fase, la rúbrica ajustada podría aplicarse a una nueva cohorte o conjunto de actividades para comparar estabilidad de criterios, carga de corrección y calidad de la retroalimentación. Este tipo de estudio permitiría pasar del marco conceptual a una validación progresiva de uso institucional.

Una tercera línea podría estudiar la relación entre el uso documentado de la inteligencia artificial, la autonomía del aprendizaje y el desempeño en defensas orales o problemas de transferencia. Esto permitiría distinguir entre uso instrumentalmente eficiente y uso formativamente productivo. Una cuarta línea debería explorar la adaptación del marco a distintas culturas disciplinares dentro de la ingeniería, dado que no todas las asignaturas producen la misma clase de evidencia técnica.

Finalmente, se requiere investigación longitudinal. El objetivo no es que una actividad aislada sea más resistente a la inteligencia artificial, sino que los estudiantes desarrollen progresivamente una forma de pensar ingeniería que integre herramientas sin perder autonomía, criterio y responsabilidad.

12 Conclusiones

1) La inteligencia artificial generativa no elimina la necesidad de aprender ingeniería, pero reduce el valor de la ejecución correcta como evidencia suficiente de comprensión. Cuando una parte de la resolución puede ser externalizada, la evaluación debe observar también la formulación, los supuestos, la interpretación y la validación.

2) El marco propuesto organiza esa evidencia en seis dimensiones: formulación del problema, explicitación de supuestos, representación y modelización, mediación tecnológica crítica, validación de resultados y juicio profesional. Estas dimensiones pueden traducirse en rúbricas, actividades y defensas focalizadas.

3) El rigor formativo no desaparece con la automatización; se desplaza desde la dificultad operativa hacia la calidad de la formulación, la justificación, la validación y la responsabilidad epistemológica y profesional.

4) El aprendizaje sigue siendo responsabilidad cognitiva del estudiante. La tarea docente consiste en diseñar condiciones en las que ese aprendizaje pueda construirse, hacerse visible y evaluarse con criterios pertinentes a una ingeniería que ya convive con sistemas de inteligencia artificial.

Referencias

- [1] K. Bittle and O. El-Gayar, "Generative AI and academic integrity in higher education: A systematic review and research agenda," *Information*, vol. 16, no. 4, Art. no. 296, 2025, doi: 10.3390/info16040296.
- [2] T. Corbin, M. Bearman, D. Boud, and P. Dawson, "The wicked problem of AI and assessment," *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 2025, doi: 10.1080/02602938.2025.2553340.
- [3] UNESCO, *Guidance for Generative AI in Education and Research*. Paris, France: UNESCO, 2023.
- [4] H. Bastani, O. Bastani, A. Sungu, H. Ge, Ö. Kabakçı, and R. Mariman, "Generative AI without guardrails can harm learning: Evidence from high school mathematics," *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, vol. 122, no. 26, Art. no. e2422633122, 2025, doi: 10.1073/pnas.2422633122.
- [5] Y. Fan et al., "Beware of metacognitive laziness: Effects of generative artificial intelligence on learning motivation, processes, and performance," *British Journal of Educational Technology*, vol. 56, no. 2, pp. 489-530, 2024, doi: 10.1111/bjet.13544.
- [6] L. Yan, S. Greiff, J. M. Lodge, and D. Gašević, "Distinguishing performance gains from learning when using generative AI," *Nature Reviews Psychology*, vol. 4, pp. 435-436, 2025, doi: 10.1038/s44159-025-00467-5.
- [7] H. R. Paz, "Del paradigma algorítmico a la modelización aumentada en la formación en ingeniería," *Zenodo*, 2026, doi: 10.5281/zenodo.19189975.
- [8] S. E. Eaton and J. Christensen Hughes, "Rethinking ethical academic integrity ecosystems in higher education in the age of artificial intelligence," *Journal of Academic Ethics*, vol. 23, no. 1, pp. 45-63, 2025.
- [9] D. P. Ausubel, *Educational Psychology: A Cognitive View*. New York, NY, USA: Holt, Rinehart and Winston, 1968.
- [10] J. S. Bruner, *The Process of Education*. Cambridge, MA, USA: Harvard University Press, 1960.
- [11] J. Biggs and C. Tang, *Teaching for Quality Learning at University*, 4th ed. Maidenhead, U.K.: McGraw-Hill/Open University Press, 2011.
- [12] H. R. Paz, *La inteligencia artificial en la educación: Comprensión, evaluación y formación en la era de la inteligencia artificial*. Amazon KDP, 2026. <https://www.amazon.com/inteligencia-artificial-educaci%C3%B3n-Compresi%C3%B3n-evaluaci%C3%B3n-ebook/dp/B0GTGD24B7>.
- [13] H. R. Paz, *Cómo evaluar en tiempos de IA*. 2026.
- [14] H. R. Paz, *Exámenes que la IA no puede resolver*. Amazon KDP, 2026. <https://www.amazon.com/-/es/Hugo-Roger-Paz-book/dp/B0GTW96VH2>.
- [15] H. R. Paz, *Cómo estudiar con IA sin perder autonomía*. Amazon KDP, 2026. <https://www.amazon.com/estudiar-perder-autonom%C3%ADa-Educaci%C3%B3n-Spanish-ebook/dp/B0GTWBL5X3>.

- [16] M. Gerlich, "AI tools in society: Impacts on cognitive offloading and the future of critical thinking," *Societies*, vol. 15, no. 1, Art. no. 6, 2025, doi: 10.3390/soc15010006.
- [17] L. Yan, S. Greiff, Z. Teuber, and D. Gašević, "Promises and challenges of generative artificial intelligence for human learning," *Nature Human Behaviour*, vol. 8, no. 10, pp. 1839-1850, 2024, doi: 10.1038/s41562-024-02004-5.
- [18] M. Niss and T. Højgaard, *Mathematical Competencies Revisited*. Cham, Switzerland: Springer, 2019.
- [19] L. S. Vygotsky, *Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes*. Cambridge, MA, USA: Harvard University Press, 1978.
- [20] Y. Jabareen, "Building a conceptual framework: Philosophy, definitions, and procedure," *International Journal of Qualitative Methods*, vol. 8, no. 4, pp. 49–62, 2009, doi: 10.1177/160940690900800406.
- [21] H. Snyder, "Literature review as a research methodology: An overview and guidelines," *Journal of Business Research*, vol. 104, pp. 333–339, 2019, doi: 10.1016/j.jbusres.2019.07.039.

H. R. Paz es doctor en Educación de la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad Nacional de Tucumán (2018-03-01 a 2033-10-11). Magíster en Ingeniería Hidráulica de la Universidad de Cantabria (1992-10-13 a 1993-09-27) e Ingeniero Civil de la Universidad Nacional de Tucumán (1984-03-01 a 1990-12-19). Investigador sénior y científico de datos con formación en ingeniería civil e hidráulica y más de 40 años de experiencia en educación superior.