

Pilot Implementation of the Collective Growth System in Engineering: Transition from the competency-based model to the development of human capacities

Marco Tulio Canales Chavez¹ 

¹ Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica Centroamericana, Honduras,
marco.canales@unitec.edu.hn

Abstract– This study presents the results of a pilot implementation of the Collective Growth System (CGS) in Engineering education, contrasting the traditional transactional model with an approach focused on the development of comprehensive human capacities. Through a comparative research design in a Structural Analysis course, three learning pathways (traditional, CGS, and mixed) were evaluated to analyze their impact on conceptual understanding, professional identity, and ethics. The results validate that immersion in simulated contexts and professional roles catalyzes the transition from mechanical calculation to engineering judgment, overcoming the limitations of the traditional model regarding decision-making under uncertainty. Significantly, the findings challenge the notion of academic resistance: students demonstrated a willingness to assume a higher cognitive and time burden when they perceive a return of value in their professional training. The study concludes that the CGS model is superior in activating intrinsic ethical responsibility and cognitive confidence, although its large-scale sustainability requires curricular reengineering to address structural limitations concerning time and technical resources.

Keywords – Collective Growth System, Engineering Education, Professional Identity, Engineering Ethics, Curricular Innovation.

Piloto de Implementación del Collective Growth System en Ingeniería: Transición del modelo de competencias a la formación de capacidades humanas

Marco Tulio Canales Chavez¹ 

¹ Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica Centroamericana, Honduras,
marco.canales@unitec.edu.hn

Resumen– Este estudio presenta los resultados de un piloto de implementación del Collective Growth System (CGS) en la enseñanza de Ingeniería, contrastando el modelo tradicional transaccional con un enfoque de formación de capacidades humanas integrales. Mediante un diseño de investigación comparativo en la asignatura de Análisis Estructural, se evaluaron tres trayectorias de aprendizaje (tradicional, CGS y mixta) para analizar su impacto en la comprensión conceptual, la identidad profesional y la ética. Los resultados validan que la inmersión en contextos simulados y roles profesionales cataliza la transición del cálculo mecánico al criterio ingenieril, superando las limitaciones del modelo tradicional en la toma de decisiones bajo incertidumbre. Significativamente, los hallazgos desafían la noción de la resistencia académica: los estudiantes demostraron disposición a asumir una carga cognitiva y temporal superior cuando perciben un retorno de valor en su formación profesional. El estudio concluye que el modelo CGS es superior para activar la responsabilidad ética intrínseca y la seguridad cognitiva, aunque su sostenibilidad a gran escala requiere una reingeniería curricular que aborde las limitaciones estructurales de tiempo y recursos técnicos.

Palabras Clave – Collective Growth System, Educación en Ingeniería, Identidad Profesional, Ética en Ingeniería, Innovación Curricular.

I. INTRODUCCIÓN

El modelo tradicional de enseñanza, la enseñanza transaccional, se caracteriza por un intercambio o transacción entre estudiante y docente en el cual se prioriza la evaluación de conocimiento transmitido. El docente, o experto, expone contenido y asigna tareas, mientras el estudiante recibe el contenido y cumple con las obligaciones asignadas. En este modelo existe un enfoque alrededor de la evaluación del estudiante en base a su capacidad para responder preguntas o problemas sobre el contenido que el docente transmitió.

Este modelo se ha utilizado durante gran parte del siglo XX y principios del XXI para transmitir conocimientos técnicos altamente especializados en el campo de la ingeniería. A menudo este modelo es descrito como deductivo, y prioriza la evaluación de la capacidad de retención de fórmulas, procedimientos de cálculo y normativas técnicas por parte del estudiante [1].

Sin embargo, las demandas del campo laboral contemporáneo han mostrado que la creciente competitividad ha marcado con prioridad el desarrollo de capacidades interconectadas en el profesional. En la escala de prioridades en el proceso de contratación profesional, la capacidad para

realizar procedimientos complejos de cálculo a menudo no sobre pasa la importancia de un saludable abanico de habilidades transversales en el candidato. Habilidades como el liderazgo, el pensamiento crítico y la capacidad para el trabajo en equipo [2]. Este cambio ha sido ampliamente documentado en educación en ingeniería, donde el desarrollo de competencias profesionales se considera fundamental para el desempeño sostenible del egresado [3].

Sumado a este cambio en las prioridades de contratación por la creciente cantidad de profesionales compitiendo por un cargo, se suman los efectos en las prioridades del contratante que surgen al aparecer dentro del campo laboral herramientas avanzadas, como la inteligencia artificial, que a menudo requieren que estas habilidades transversales se encuentren intrínsecamente vinculadas con una sólida formación de carácter [4]. La alfabetización en inteligencia artificial se ha convertido en una competencia crítica para estudiantes universitarios en múltiples disciplinas [5]. Un ingeniero en el siglo XXI no solo debe de saber como y cuando hacer uso técnica y moralmente correcto de estas herramientas avanzadas, sino que también debe de ser capaz de poner bajo la lupa el trabajo de otros para detectar problemas que puedan ser indetectables por un modelo extenso de lenguaje o Large Language Model (LLM) [6].

Formación integral de esta naturaleza no es compatible con un modelo tradicional transaccional, enfocado en la transmisión de conocimiento. Los organismos de acreditación internacional de programas para la enseñanza de ingeniería han reconocido esta carencia y desde hace varias décadas incorporan en sus criterios de acreditación la evaluación del desarrollo de competencias [7]. Sin embargo, el surgimiento de herramientas avanzadas que pueden imitar el desempeño de competencias técnicas vuelve a traer al foco la forma en que enseñamos la ingeniería, especialmente al transformar la relación del estudiante con el conocimiento desde un uso instrumental hacia un rol cognitivo activo junto a la tecnología [8].

En este contexto de reforma necesaria, las metodologías incubadas dentro de los entornos educativos progresistas K-12 de las escuelas internacionales nos brindan perspectivas profundas y sorprendentemente aplicables para la educación superior. Específicamente, el Collective Growth System (CGS) desarrollado por Kevin Bartlett y el Common Ground Collaborative presenta un marco sistémico diseñado para permitir que instituciones educativas puedan hacer transición

de un sistema transaccional hacia uno de transformación del estudiante, o incluso de trascendencia del conocimiento por el estudiante. Sus principios fundamentales sobre la cognición humana, la motivación intrínseca y la eficacia colectiva resultan sumamente relevantes en el contexto de la enseñanza de la ingeniería en el mundo contemporáneo, particularmente en entornos donde la interacción humano-tecnología modifica la experiencia de aprendizaje [9].

Este trabajo presenta los resultados de la aplicación de la metodología del CGS en el contexto universitario local latinoamericano.

A. Definición del Aprendizaje del CGS

El CGS destaca que el aprendizaje no es un evento aislado, ni se puede representar mediante la acumulación de datos en el estudiante. Según el CGS el aprendizaje consta de tres dimensiones interconectadas y dinámicas: Concepto, Competencia y Carácter.

Así, define al aprendizaje como el proceso de construir una comprensión conceptual, desarrollar competencias (habilidades) y cultivar el carácter. En la definición del aprendizaje del CGS la comprensión conceptual no es sinónimo de memorizar, sino de la comprensión de los principios y patrones subyacentes. El diferenciador principal de esta dimensión respecto a la enseñanza tradicional es que busca que el estudiante pueda transferir ideas de un contexto a otro.

La dimensión del desarrollo de competencia es quizá el más familiar dentro del contexto contemporáneo de la ingeniería. Esta dimensión se concentra en brindar al estudiante las habilidades para poder aplicar el entendimiento alcanzado por la dimensión conceptual para realizar tareas complejas, resolver problemas, o para crear algo nuevo [10]. Experiencias de aprendizaje mediadas por robots educativos han demostrado reforzar este tipo de desarrollo aplicado al permitir interacción directa con sistemas físicos complejos [11].

Cultivar el carácter en un estudiante implica el desarrollo de disposiciones, valores y rasgos de personalidad (como la resiliencia, la empatía o la integridad) que permiten que el estudiante haga uso correcto de sus competencias para hacer contribuciones útiles para la sociedad. La formación del carácter es algo que en muchos casos se declara, pero no se formaliza de manera efectiva dentro del currículo en la enseñanza de ingeniería.

Adicional a estas tres dimensiones, el CGS adiciona un componente sumamente importante en el contexto actual: la metacognición. El aprendizaje también implica que el estudiante sea consciente de su propio proceso y que pueda autorregularlo; es necesario aprender a aprender o Learning to Learn (L2L).

Este balance entre conceptos, competencias, carácter y metacognición no es algo que se va a desarrollar en una asignatura de “Ética y Ciudadanía”, en un solo “Capstone Project”, o en una “Introducción a la Ingeniería”, sino que representan dimensiones transversales que debe permear en

todo el ecosistema universitario en el cual se desenvuelve el estudiante. Aunque los proyectos integradores tipo capstone contribuyen significativamente a la articulación de conocimientos técnicos y habilidades profesionales, estos funcionan principalmente como espacios de integración final más que como mecanismos únicos de formación integral [12]. De forma ideal, intervienen en su desarrollo el diseño del currículo, la cultura institucional, la comunidad universitaria y el contexto de referencia que nutrirán al futuro profesional.

II. METODOLOGÍA

A. Diseño de investigación

La aplicación de la pedagogía del CGS a la enseñanza de la ingeniería idealmente requiere una transformación institucional para alcanzar el desarrollo maduro de capacidades humanas en los estudiantes. La Universidad Tecnológica Centroamericana en Honduras se encuentra realizando este proceso de transformación y en este contexto se condujo un piloto de implementación de herramientas pedagógicas del enfoque del aprendizaje por competencias rediseñadas y reorientadas al nuevo ecosistema de aprendizaje por capacidades humanas.

Este trabajo de investigación es de carácter exploratorio y descriptivo, utilizando un método de caso comparativo. Se contrastaron tres modalidades de evaluación (o trayectorias) para analizar como diferentes enfoques pedagógicos influyen en la adquisición y en la percepción de adquisición de competencias conceptuales, prácticas y éticas en estudiantes de ingeniería civil. El objetivo principal es la comprensión profunda de la experiencia de aprendizaje de un grupo de estudiantes, y la validación de la viabilidad del modelo del CGS para la enseñanza de ingeniería en educación superior.

B. Contexto y participantes

El estudio se llevó a cabo en el segundo período del segundo semestre académico del 2025 en la asignatura CIV324 Análisis Estructural de la carrera de Ingeniería Civil en la Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC).

La población estudiada consistió en una cohorte de 12 estudiantes de tercer año del cual se obtuvo una muestra voluntaria de 9 participantes que completaron instrumentos de recolección de datos, representando una tasa de respuesta del 75%. Se adoptó un diseño de caso exploratorio (n=9) priorizando la profundidad cualitativa sobre la generalización estadística. Esta escala permitió monitorear a nivel granular la carga cognitiva y la evolución de la identidad profesional, validando los mecanismos de transición del modelo CGS y su viabilidad operativa antes de un escalamiento curricular masivo.

C. Descripción de la Intervención pedagógica y las trayectorias

El diseño instruccional base para la asignatura CIV324 Análisis Estructural incluye el 50% de la evaluación de forma continua o acumulativo, y 50% en evaluación por exámenes tradicionales. La intervención pedagógica diseñada para esta investigación cambió la evaluación por exámenes tradicionales hacia instrumentos pedagógicos rediseñados con enfoques de la metodología del CGS.

La participación de los estudiantes en este piloto fue de forma voluntaria, ofreciéndose la opción de elegir su método de evaluación. La elección realizada por los estudiantes resultó en la formación de tres grupos experimentales naturales o “Trayectorias”:

Trayectoria A (Control): Este grupo está conformado por estudiantes que escogieron la evaluación mediante exámenes. El enfoque de esta trayectoria priorizó la evaluación de la capacidad de los estudiantes para realizar cálculos numéricos y la resolución de problemas complejos de ingeniería sometidos a restricciones de tiempo. Esta trayectoria representa el modelo de aprendizaje basado en competencias usando herramientas de evaluación convencionales. Los exámenes aplicados no tienen una única solución obvia, requieren abstraer principios teóricos para aplicarlos en contextos reales haciendo uso de códigos locales vigentes, e involucran consideraciones técnicas conflictivas como economía y seguridad.

Trayectoria B (Experimental): Este grupo está conformado por estudiantes que escogieron la evaluación exclusivamente mediante proyectos basados en roles y actividades rediseñadas con la pedagogía del CGS. Bajo la metodología del CGS estos estudiantes asumieron roles de “Consultores junior” resolviendo problemas basados en estructuras reales para las cuales recibían información en el contexto profesional de la ingeniería civil (planos, memorias de cálculo, visitas de campo, etc). Los proyectos se centraron en evaluar las competencias técnicas de los estudiantes para el manejo de herramientas tecnológicas especializadas y la aplicación del código de construcción local. Sin embargo, también se incorporó en la evaluación el uso de herramientas y rúbricas que toman en cuenta el desarrollo del carácter mediante la evaluación ética de sus propuestas, la responsabilidad con la cual las presentaban, y la capacidad de brindar y recibir retroalimentación.

Trayectoria C (Mixta): La libertad brindada a los estudiantes para elegir su forma de evaluación creó naturalmente una trayectoria donde los estudiantes combinaron los métodos. Este grupo está conformado por estudiantes que participaron en ambas formas de evaluación, ya sea realizando primero un examen y luego el proyecto, o

viceversa. Este grupo permite comparar directamente la experiencia subjetiva entre ambos paradigmas y analizar el impacto de la capacidad de elegir la evaluación por parte del estudiante.

D. Ecuaciones

Aunque se puede argumentar que es posible medir el alcance del desarrollo de competencias a través de la comparación numérica de las calificaciones de los estudiantes de las tres trayectorias, se decidió que la naturaleza distinta de los métodos de evaluación, así como las motivaciones intrínsecas de los estudiantes en su elección de trayectoria, no permitirían una comparación directa justa de los resultados.

Se diseñó un instrumento de encuesta mixta administrado después de completar los estudiantes todas las evaluaciones, pero antes de conocer los estudiantes su nota final. Esto se planificó de esta manera para poder medir la percepción del estudiante sin el prejuicio de su nota particular. El objetivo principal es conocer cuan receptivos son los estudiantes ante la metodología, evitando un sesgo en función de su calificación. El instrumento estaba compuesto por dos secciones:

Escala de percepción: Items tipo Likert destinados a medir la autopercepción del estudiante en dimensiones clave del CGS: comprensión conceptual profunda (vs mecánica), capacidad de idealización estructural, toma de decisiones en incertidumbre, capacidad para evaluar la seguridad y valoración de la responsabilidad ética. También se hicieron preguntas para tener perspectiva sobre su experiencia de aprendizaje de cada estudiante: Aplicabilidad percibida del conocimiento adquirido, inversión de esfuerzo relativo al aprendizaje, y si repetiría su elección de método de evaluación en el futuro.

Reflexiones abiertas: Preguntas de respuesta libre diseñadas para capturar la narrativa del estudiante sobre su motivación, manejo del estrés y la “identidad profesional” desarrollada durante el curso. Se solicitó a los estudiantes justificar su elección de trayectoria y comparar su aprendizaje percibido.

La investigación se desarrolló mediante un estudio piloto cualitativo comparativo entre un grupo con enseñanza tradicional y otro bajo el marco CGS, que simula un contexto profesional real. La recolección de información se realizó mediante un cuestionario estructurado por dimensiones formativas, presentadas en la Tabla 1, orientadas a evaluar comprensión conceptual, identidad profesional, toma de decisiones bajo incertidumbre, conciencia ética y percepción costo-beneficio del aprendizaje. Las respuestas fueron analizadas por contraste entre grupos y mediante interpretación de testimonios estudiantiles, permitiendo evaluar el impacto pedagógico del modelo y establecer su transferibilidad, así como proponer la ampliación de la muestra en futuros estudios.

Tabla I
Cuestionario aplicado a los estudiantes con dimensiones, interpretación y relación con la taxonomía de Bloom

Dimensión	Pregunta	Interpretación	Nivel de Bloom	Importancia analítica
Comprensión conceptual	Entiendo por qué las estructuras se comportan como lo hacen, más allá de aplicar fórmulas o software.	Comprensión profunda del fenómeno estructural	Comprender	Diferencia aprendizaje significativo vs memorístico
Comprensión conceptual	Comprendí que el análisis estructural es un proceso de idealización definido por el criterio del ingeniero.	Modelación ingenieril	Analizar	Evidencia abstracción profesional
Toma de decisiones	Puedo tomar decisiones de diseño aun con información incompleta.	Juicio profesional	Evaluar	Simula condiciones reales de ejercicio profesional
Conciencia ética	Consideré el uso real y la seguridad de los usuarios al resolver el problema.	Responsabilidad social del diseño	Evaluar	Conecta cálculo con impacto humano
Conciencia ética	Reconozco que mis cálculos impactan la seguridad pública y el cumplimiento del código CHOC.	Responsabilidad normativa	Evaluar	Integra regulación profesional al aprendizaje
Transferencia	Puedo aplicar lo aprendido a situaciones nuevas u otros cursos.	Transferencia de aprendizaje	Aplicar	Indica formación de competencia durable
Esfuerzo requerido	Este método requirió mayor esfuerzo que la evaluación tradicional.	Percepción de carga cognitiva	Metacognición	Relaciona dificultad con aprendizaje profundo
Valor percibido	Volvería a elegir este método de evaluación.	Valor percibido del aprendizaje	Metacognición	Valida sostenibilidad del modelo educativo

III. RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados del estudio piloto, en los cuales se observan diferencias claras entre el grupo tradicional y el grupo bajo el marco CGS, particularmente en la profundidad del aprendizaje, la identidad profesional y la toma de decisiones. Como se observa en la Figura 1, la comprensión conceptual aumenta conforme la

metodología se aproxima a un contexto profesional. La Trayectoria A presenta un 34% de respuestas neutras, evidenciando que una parte de los estudiantes no logra consolidar el entendimiento del comportamiento estructural. En contraste, la Trayectoria B alcanza un acuerdo absoluto con el nivel máximo de certeza, mientras que la Trayectoria C muestra aceptación total pero con menor seguridad cognitiva. Esto sugiere que metodologías más inmersivas no solo

mejoran la comprensión, sino también la confianza del estudiante en su propio razonamiento ingenieril.

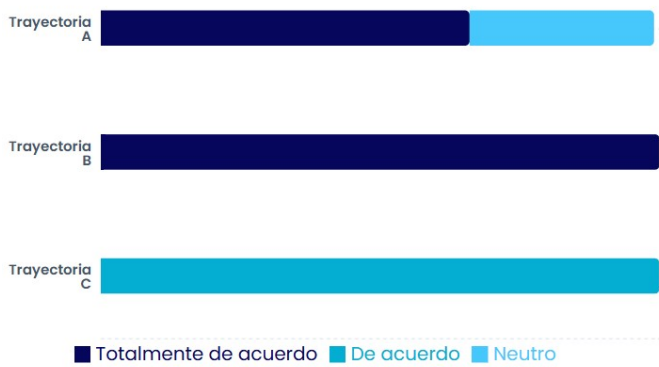


Figura 1. Comprensión conceptual del comportamiento estructural: Traectoria A — 66% totalmente de acuerdo y 34% neutro; Traectoria B — 100% totalmente de acuerdo; Traectoria C — 100% de acuerdo

Como se observa en la Figura 2, la percepción del análisis estructural como proceso de idealización aumenta progresivamente según la metodología aplicada. La Traectoria A presenta respuestas distribuidas entre acuerdo y neutralidad, indicando comprensión parcial del rol del criterio ingenieril. En contraste, la Traectoria B alcanza consenso absoluto, evidenciando apropiación completa del concepto, mientras que la Traectoria C muestra aceptación generalizada, aunque con menor grado de certeza. Estos resultados sugieren que la experiencia formativa influye directamente en la transición del pensamiento matemático al pensamiento propiamente ingenieril.

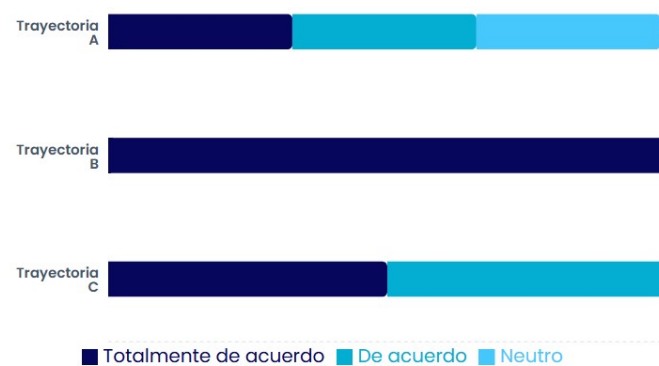


Figura 2. Comprensión del análisis estructural como proceso de idealización: Traectoria A — 33% totalmente de acuerdo, 33% de acuerdo y 34% neutro; Traectoria B — 100% totalmente de acuerdo; Traectoria C — 50% totalmente de acuerdo y 50% de acuerdo.

Como se muestra en la Figura 3, la capacidad percibida para tomar decisiones de diseño con información incompleta mejora a medida que la experiencia se aproxima a un contexto aplicado. La Traectoria A presenta una distribución equilibrada entre acuerdo y neutralidad, evidenciando inseguridad en el criterio de diseño. La Traectoria B muestra aceptación total, aunque dividida en niveles de certeza,

mientras que la Traectoria C alcanza consenso completo en acuerdo. Esto sugiere que la exposición a escenarios prácticos fortalece progresivamente la confianza del estudiante para actuar bajo incertidumbre, una condición propia del ejercicio profesional.

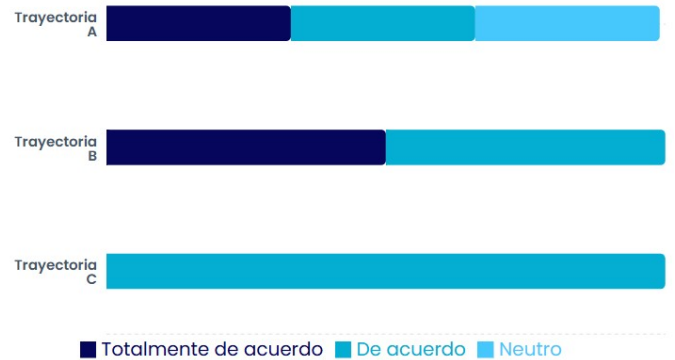


Figura 3. Capacidad para tomar decisiones de diseño con información incompleta: Traectoria A — 33% totalmente de acuerdo, 33% de acuerdo y 34% neutro; Traectoria B — 50% totalmente de acuerdo y 50% de acuerdo; Traectoria C — 100% de acuerdo.

Como se observa en la Figura 4, la consideración de la seguridad y del usuario final presenta diferencias marcadas entre trayectorias. La Traectoria B alcanza acuerdo absoluto en el nivel máximo, evidenciando plena internalización del impacto del diseño estructural. La Traectoria A muestra una valoración positiva pero no totalmente consolidada, mientras que la Traectoria C se mantiene en neutralidad total, lo que sugiere ausencia de reflexión explícita sobre las implicaciones humanas del cálculo. Estos resultados indican que la aproximación metodológica influye directamente en la incorporación de la dimensión social del ejercicio profesional.



Figura 4. Consideración de la seguridad y del usuario final: Traectoria A — 70% totalmente de acuerdo y 30% de acuerdo; Traectoria B — 100% totalmente de acuerdo; Traectoria C — 100% neutro.

Como se muestra en la Figura 5, la conciencia sobre el impacto de los cálculos en la seguridad pública es alta en todas las trayectorias, alcanzando acuerdo absoluto en las Trayectorias A y B. La Traectoria C también presenta aceptación total, aunque dividida en niveles de certeza. Esto indica que la dimensión normativa del ejercicio profesional es

comprendida por la mayoría de los estudiantes, pero la metodología influye en el grado de convicción con que se asume dicha responsabilidad.

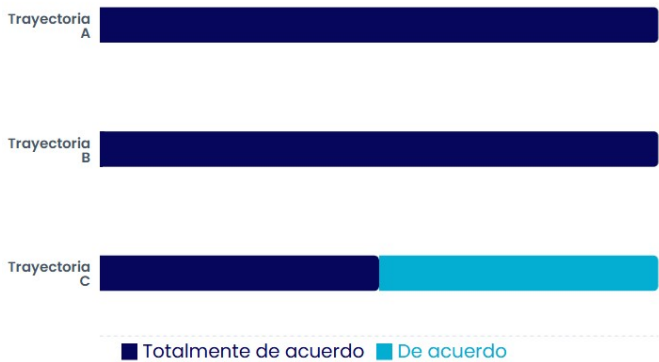


Figura 5. Reconocimiento del impacto de los cálculos en la seguridad pública: Trayectoria A — 100% totalmente de acuerdo; Trayectoria B — 100% totalmente de acuerdo; Trayectoria C — 50% totalmente de acuerdo y 50% de acuerdo.

Como se observa en la Figura 6, la percepción de transferencia del aprendizaje es positiva en todas las trayectorias. Las Trayectorias A y B alcanzan acuerdo absoluto en el nivel máximo, mientras que la Trayectoria C también presenta aceptación total aunque con menor grado de certeza. Esto indica que los estudiantes reconocen la aplicabilidad del conocimiento adquirido, pero la metodología influye en la seguridad con la que perciben su capacidad para trasladarlo a nuevos contextos.



Figura 6. Transferencia del aprendizaje a nuevos contextos: Trayectoria A — 100% totalmente de acuerdo; Trayectoria B — 100% totalmente de acuerdo; Trayectoria C — 100% de acuerdo.

Como se observa en la Figura 7, la percepción del esfuerzo varía según la metodología aplicada. La Trayectoria A no presenta una valoración diferenciada del esfuerzo. En la Trayectoria B, la mitad de los estudiantes percibe que la actividad requiere mucho más esfuerzo, mientras la otra mitad la considera similar, lo que sugiere mayor exigencia cognitiva. Por el contrario, en la Trayectoria C una parte significativa percibe menor demanda, indicando una experiencia académica menos retadora.

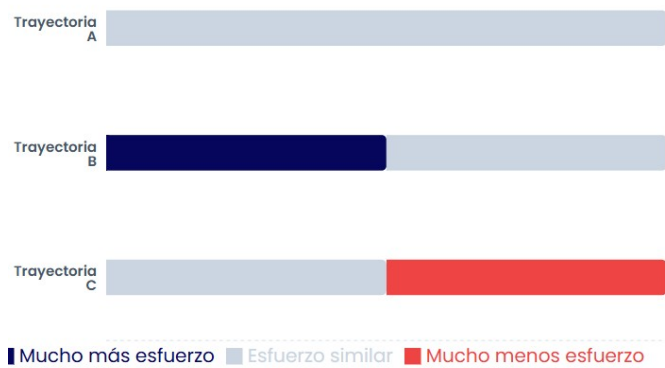


Figura 7. Percepción del esfuerzo requerido: Trayectoria A — 0% esfuerzo no reportado; Trayectoria B — 50% mucho más esfuerzo y 50% esfuerzo similar; Trayectoria C — 50% esfuerzo similar y 50% mucho menos esfuerzo.

Como se muestra en la Figura 8, la aceptación del método de evaluación varía notablemente entre trayectorias. La Trayectoria B presenta acuerdo absoluto en mantener el mismo método, evidenciando alta valoración de la experiencia formativa. En contraste, la Trayectoria C divide opiniones entre mantenerlo y cambiarlo, mientras que la Trayectoria A se inclina mayoritariamente hacia la posibilidad de cambio. Estos resultados sugieren que la percepción de valor del aprendizaje está directamente asociada al nivel de involucramiento que genera la metodología aplicada.

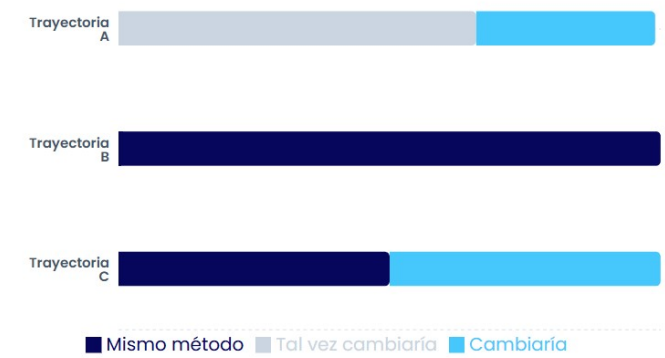


Figura 8. Preferencia por el método de evaluación: Trayectoria A — 70% tal vez cambiaría y 30% cambiaría; Trayectoria B — 100% mismo método; Trayectoria C — 50% mismo método y 50% cambiaría.

Al analizar los resultados según la taxonomía de Bloom, la Trayectoria B evidencia el mayor nivel cognitivo alcanzado, mostrando predominio en habilidades de análisis y evaluación con alto grado de certeza. La Trayectoria A también alcanza estos niveles, aunque con menor consolidación conceptual reflejada en respuestas neutrales. Por su parte, la Trayectoria C se concentra principalmente en niveles de aplicación y aceptación, sin evidencias fuertes de evaluación profunda. En consecuencia, la secuencia de recomendación pedagógica según profundidad cognitiva es B, seguida de A y finalmente C.

Tabla II
Matriz de trayectorias, competencias y taxonomía de Bloom

Competencia evaluada	Nivel de Bloom	Trayectoria A	Trayectoria B	Trayectoria C
Comprensión del comportamiento estructural	Comprender	66% totalmente de acuerdo / 34% neutro	100% totalmente de acuerdo	100% de acuerdo
Análisis estructural como idealización	Analizar	33% totalmente de acuerdo / 33% de acuerdo / 34% neutro	100% totalmente de acuerdo	50% totalmente de acuerdo / 50% de acuerdo
Decisiones con información incompleta	Evaluar	33% totalmente de acuerdo / 33% de acuerdo / 34% neutro	50% totalmente de acuerdo / 50% de acuerdo	100% de acuerdo
Consideración del usuario y seguridad	Evaluar	70% totalmente de acuerdo / 30% de acuerdo	100% totalmente de acuerdo	100% neutro
Responsabilidad normativa (CHOC)	Evaluar	100% totalmente de acuerdo	100% totalmente de acuerdo	50% totalmente de acuerdo / 50% de acuerdo
Transferencia del aprendizaje	Aplicar	100% totalmente de acuerdo	100% totalmente de acuerdo	100% de acuerdo
Esfuerzo requerido	Metacognición	100% esfuerzo similar	50% mucho más esfuerzo / 50% esfuerzo similar	50% esfuerzo similar / 50% mucho menos esfuerzo
Preferencia por el método	Metacognición	70% tal vez cambiaría / 30% cambiaría	100% mismo método	50% mismo método / 50% cambiaría

IV. DISCUSIÓN

La interpretación de la evidencia cualitativa recabada de los estudiantes de las tres trayectorias refuerza algunas de las observaciones del análisis cuantitativo. Debido al limitado tamaño de la muestra, el análisis de la evidencia cualitativa es clave para poder alcanzar conclusiones apropiadas sobre la percepción del aprendizaje de los estudiantes. Los hallazgos sugieren que la metodología de evaluación no solo mide el aprendizaje, sino que moldea la identidad profesional y la percepción del valor del esfuerzo académico. La Tabla 3 muestra el resumen de los hallazgos y algunas comparaciones encontradas en la literatura. Esta tabla organiza la evidencia cualitativa para demostrar cómo el método de evaluación reconfigura las prioridades del estudiante.

A. La construcción de la identidad profesional

Uno de los hallazgos más significativos del estudio radica en la autopercepción del rol del estudiante. Mientras que los estudiantes de la Trayectoria A realizaron sus evaluaciones en el rol de un estudiante que evidencia el desarrollo de competencias especializadas, los estudiantes de la Trayectoria B experimentaron una transformación de identidad.

Los datos cualitativos indican que el 100% de los estudiantes de la trayectoria B sintieron que dejaron de actuar como estudiantes que quieren una nota, para pensar como consultores juniors. Testimonios como “Con los proyectos sentí que ya no estaba pensando solo en la nota, sino en resolver un problema real” y la mención de consultas externas con profesionales de la ingeniería validan que el entorno de inmersión (roles, planos reales, visitas) activa la dimensión de Carácter propuesta por el CGS.

Por otra parte, a pesar de que los estudiantes de la Trayectoria A alcanzaron notas aprobatorias, y reconocieron que percibían que ambas trayectorias requerían un esfuerzo similar, reconocen explícitamente una pérdida de oportunidad en el desarrollo de habilidades blandas al admitir que “el proyecto ofrecía mejores oportunidades de aprendizaje” y mayor cercanía a la realidad laboral.

B. La construcción de la identidad profesional

Un hallazgo significativo es el rompimiento de la noción que los estudiantes prefieren el camino fácil. Los resultados muestran una clara correlación entre esfuerzo invertido y satisfacción con el aprendizaje. Mientras que el 100% de los participantes de la Trayectoria B reportó haber sentido que hicieron una alta inversión de esfuerzo, e incluso el 50% indicó sentir que realizaron mucho más esfuerzo que la alternativa, el 100% indicó que elegiría nuevamente la misma trayectoria ante la oportunidad de escoger. Esto sugiere que los estudiantes están dispuestos a dedicar una alta inversión de esfuerzo cuando perciben que tendrán un retorno significativo. Este retorno no representa una nota, sino en este caso, un significado profesional tangible. Reforzando esta idea, los estudiantes de la Trayectoria A reportaron percibir un esfuerzo similar, pero ninguno indicó con certeza que volvería a elegir el examen.

Por contraste la Trayectoria C presentó los resultados más bajos en términos de seguridad cognitiva y satisfacción. Los estudiantes de esta trayectoria se mostraron más inseguros en sus respuestas, oscilando en el término medio y neutro en muchas de sus respuestas.

C. Del cálculo al criterio

Quizá la abstracción más grande en una asignatura de análisis estructural se encuentra en alcanzar la transición de una mentalidad de cálculo mecánico a la interpretación ingenieril. Los resultados cualitativos soportan que el CGS facilita esta transición de manera más efectiva que la metodología tradicional.

El 100% de los estudiantes de la Trayectoria B comprendió el análisis como un “proceso de idealización” validado por comentarios sobre cómo ver la estructura física hizo que “los planos y cálculos tuvieran sentido”. Por el contrario, solo el 33% de la Trayectoria A se mostraron seguros de haber alcanzado esta comprensión, con otro 33% dudando si efectivamente alcanzaron esta capacidad. Esto soporta la noción que el examen tradicional, incluso cuando es complejo, tiende a evaluar la capacidad de ejecución numérica más que el criterio ingenieril ante la incertidumbre.

Tabla III
Contraste de Mentalidades y Percepciones Estudiantiles

Dimensión Pedagógica	Mentalidad Escolar (Trayectoria A)	Mentalidad Profesional (Trayectoria B)	Interpretación con soporte académico
Foco Motivacional	Eficiencia y Nota: El estudiante prioriza la optimización del tiempo y la calificación sobre el aprendizaje profundo. "El examen si tenía el mismo nivel de dificultad... pero el factor tiempo... y la facilidad de obtener una mejor nota [era factor decisivo]."	Propósito y Resolución: El estudiante desplaza su foco de la calificación hacia la solución efectiva del problema. "Con los proyectos sentí que ya no estaba pensando solo en la nota, sino en resolver un problema real."	El comportamiento observado refleja una transición de motivación extrínseca hacia motivación intrínseca orientada a la tarea, fenómeno ampliamente reportado en educación superior cuando se implementan metodologías activas y basadas en problemas [1], [2].

Identidad Percibida	Espectador del Rol: Reconoce el valor de la práctica profesional, pero se siente ajeno a ella o "fuera" de esa experiencia. "Sentí que mis compañeros que realizaron el proyecto pudieron trabajar de manera más cercana a lo que nos espera en un ambiente laboral."	Actor del Rol: Asume la identidad del ingeniero, buscando validación externa y actuando con agencia. "Si, sentí más que todo en el primer proyecto... hasta a otros ingenieros le preguntamos a ver su opinión."	La evolución desde observador hacia participante activo coincide con modelos de construcción de identidad profesional en ingeniería, donde la reflexión y la participación auténtica en prácticas reales fortalecen el sentido de pertenencia disciplinar [3], [4].
Sentido del Aprendizaje	Cumplimiento Académico: La tarea se ve como un requisito a completar, a menudo limitado por la costumbre. "No cambiaría nada [del método tradicional] porque el desarrollo del curso estuvo bien explicado..."	Conexión con la Realidad: La teoría cobra vida a través de la experiencia física y visual. "Me motivó más que un problema de libro porque se sentía real... ver la estructura en persona hizo que los planos y cálculos tuvieran sentido."	La percepción de significado aparece cuando el aprendizaje se vincula con contextos reales; estudios en STEM muestran que el aprendizaje activo y basado en problemas mejora comprensión conceptual y retención frente a enseñanza tradicional [5], [6].
Rigor y Profundidad	Evitación del Riesgo: Se prefiere la certeza del examen ante la incertidumbre del proyecto. "Quizás sí [perdí la oportunidad de desarrollar habilidades] pero el tiempo fue un factor."	Responsabilidad Ética: La profundidad del análisis surge de la conciencia del impacto del error. "Fue necesario empezar a revisar de una manera mas profunda para poder detectar si había algun error."	La necesidad de validar resultados cuando existe impacto real promueve pensamiento experto y juicio ético, aspecto reportado en educación en ingeniería como clave para el desarrollo profesional y toma de decisiones responsables [7], [8].

D. Limitaciones y barreras de la implementación

Quizá Analizando las respuestas de la Trayectoria C y A podemos empezar a percibir algunas de las barreras que se deben de enfrentar con la implementación masiva del CGS. Entre los estudiantes, el factor determinante para no elegir o abandonar el proyecto fue el tiempo y limitaciones técnicas (disponibilidad de equipo de cómputo). Esto sugiere que, aunque el modelo CGS es pedagógicamente superior para la formación de capacidades humanas en ingeniería, su sostenibilidad depende de un rediseño curricular que reconozca y aloje la carga temporal extendida que requieren estos proyectos. No se trata simplemente de agregar el CGS al currículo, reemplazando uno a uno las evaluaciones; sino de integrar también el CGS en la cultura, comunidad, y contexto para crear un ecosistema balanceado.

IV. CONCLUSIÓN

Los resultados de este estudio permiten validar la hipótesis que la transición de un modelo tradicional (transaccional) hacia el sistema CGS en la educación de ingeniería no es solo viable sino superior en la formación de capacidades humanas integrales. La evidencia recabada permite alcanzar cuatro conclusiones para la reforma pedagógica en la ingeniería:

1. El modelo tradicional se muestra como una forma eficiente de evaluar la mecánica operativa del cálculo, pero

insuficiente para desarrollar la seguridad cognitiva necesaria en la toma de decisiones bajo incertidumbre. Por contraste el modelo del CGS logró que los participantes comprendieran el análisis estructural como un proceso de idealización y criterio; confirmando que la inmersión en contextos reales es un catalizador para transformar el conocimiento matemático en competencia ingenieril.

2. Uno de los hallazgos más trascendentes radica en la dimensión del carácter. Mientras que la evaluación tradicional fomenta una responsabilidad enfocada en la aprobación académica, el entorno simulado del CGS activó una responsabilidad ética hacia la seguridad pública y el usuario final. Los estudiantes bajo el modelo del CGS no solo aprendieron que deben apegarse a la normativa como criterio de su evaluación, sino que internalizaron el peso moral de sus decisiones, demostrando que la formación ética no debe ser una asignatura aislada, sino una práctica intrínseca en la enseñanza técnica.
3. Los resultados de este estudio desafían nociones convencionales que los estudiantes siempre buscan las rutas de menor resistencia. Los datos revelan que los estudiantes están dispuestos a asumir una carga cognitiva y temporal significativamente mayor siempre que perciban un alto valor de retorno. La satisfacción unánime y la disposición a repetir el método CGS, a pesar de su exigencia, sugieren que la desmotivación en las aulas no es producto de la dificultad, sino de la falta de relevancia

contextual percibida por el estudiante. El estudiante está dispuesto a dar un mayor esfuerzo si sienten que recibirán algo a cambio algo de valor. Mientras la nota de la clase no se percibe como algo de valor por el estudiante de 3er año, la formación profesional si.

4. Finalmente, el análisis de las trayectorias mixtas y tradicionales expone que la principal barrera para la adopción masiva no es la capacidad intelectual sino las limitaciones estructurales de tiempo y recursos técnicos. La implementación exitosa del CGS a gran escala en la educación superior no puede hacerse mediante esfuerzos aislados por parte de los docentes; requiere una reingeniería curricular que reconozca el tiempo de los proyectos como horas lectivas válidas y garantice el acceso equitativo a herramientas tecnológicas.

En resumen, este piloto demuestra que para formar a los ingenieros del siglo XXI, profesionales capaces, éticos y adaptables, es imperativo evolucionar de un sistema que evalúa la retención de información a un sistema que cultiva el crecimiento de capacidades humanas.

REFERENCES

- [1] J. Trujillo-González and M. Toribio, "Modelo tradicional de enseñanza y evaluación del aprendizaje en ingeniería," *Innovare: Revista de Ciencia y Tecnología*, 2025.
- [2] J. C. Zepeda and M. A. Cantarero, "La gamificación de la filosofía para el aprendizaje significativo en la educación superior," *Innovare: Revista de Ciencia y Tecnología*, vol. 10, no. 3, pp. 162-171, 2021.
- [3] A. Cerezo-Narváez, A. Pastor-Fernández, M. Otero-Mateo, and P. Ballesteros-Pérez, "Project management competences for the sustained success of engineering education," *Education Sciences*, vol. 9, no. 1, 2019. doi: 10.3390/educsci9010044
- [4] K. Mejía-Rivera and M. Rivera-García, "Assessing students' adoption of ChatGPT in the engineering faculty: Insights from a Honduran higher education setting," *Lecture Notes in Networks and Systems*, Springer, 2025.
- [5] M. Ayyoub et al., "Advancing higher education with AI literacy," *Frontiers in Education*, 2025.
- [6] J. Jimenez-Nixon and K. Ishii, "Artificial intelligence and ethical decision-making in professional environments," *Innovare: Revista de Ciencia y Tecnología*, 2025.
- [7] ABET, *Criteria for Accrediting Engineering Programs*, Accreditation Board for Engineering and Technology, 2025.
- [8] W. Yan, "Beyond tool use: Tracking the evolution of generative AI literacy among university students," *Computers & Education: Artificial Intelligence*, Elsevier, 2025.
- [9] J. L. Ordóñez-Ávila et al., "Trust in robots among students of different academic levels," in *Proceedings of the ACM Conference on Human-Computer Interaction and Learning Technologies*, 2021. doi: 10.1145/3449301.3449330
- [10] D. Aguilar-Montoya and R. Martínez-Almendares, "Aprendizaje basado en resolución de problemas en educación superior," *Innovare: Revista de Ciencia y Tecnología*, 2025.
- [11] K. Reyes, J. L. Ordóñez-Ávila, M. E. Perdomo, et al., "Students' trust toward educational robots in higher education," *Lecture Notes in Networks and Systems*, Springer, 2021.
- [12] J. L. Ordóñez-Fernández et al., "Capstone design projects as integrative learning experiences in engineering education," Springer, 2024.
- [13] E. L. Deci, R. Koestner, and R. M. Ryan, "A meta-analytic review of experiments examining the effects of extrinsic rewards on intrinsic motivation," *Psychological Bulletin*, vol. 125, no. 6, pp. 627-668, 1999.
- [14] M. Prince and R. Felder, "Inductive teaching and learning methods: Definitions, comparisons, and research bases," *Journal of Engineering Education*, vol. 95, no. 2, pp. 123-138, 2006.
- [15] F. Trede, R. Macklin, and D. Bridges, "Professional identity development: a review of the higher education literature," *Studies in Higher Education*, vol. 37, no. 3, pp. 365-384, 2012.
- [16] J. Turns, B. Sattler, K. Yasuhara, J. Borgford-Parnell, and C. Atman, "Integrating reflection into engineering education," *Journal of Engineering Education*, vol. 103, no. 4, pp. 573-598, 2014.
- [17] J. Strobel and A. van Barneveld, "When is PBL more effective? A meta-synthesis of meta-analyses comparing PBL to conventional classrooms," *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, vol. 3, no. 1, 2009.
- [18] S. Freeman et al., "Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics," *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 111, no. 23, pp. 8410-8415, 2014.
- [19] T. A. Litzinger, J. C. Wise, S. H. Lee, and K. A. Bjorklund, "Engineering education and the development of expertise," *Journal of Engineering Education*, vol. 100, no. 1, pp. 123-150, 2011.
- [20] D. Bairaktarova and A. Woodcock, "Engineering student ethical awareness and behavior: A new motivational model," *Science and Engineering Ethics*, vol. 23, pp. 1129-1157, 2017.