

The I-CAP driven by CDIO in the Workshop Strategy: Developing the regional entrepreneurship and innovation ecosystem

Duque Uribe, Verónica, PhD¹, Pantoja Ospina, Martín Alonso, PhD², and Restrepo Castaño, Martín Felipe³
^{1,2}*Universidad Nacional de Colombia sede Manizales (Colombia), vduqueu@unal.edu.co, mapatojao@unal.edu.co;*
³*Cámara de Comercio de Manizales por Caldas (Colombia), fortalecimiento@ccm.org.co*

Abstract

The increasingly complex challenges in engineering education require not only sophisticated technical competencies but also entrepreneurial, innovation, and leadership capabilities. This article examines the integration of two complementary approaches: CDIO (Conceive, Design, Implement, Operate) and MAGI (Mentality, Ambitious, Global, and Innovative), mediated by the Workshop Strategy (ET) implemented in the Industrial Engineering curriculum at the National University of Colombia, Manizales. Through a qualitative methodology that included a review of relevant literature, exploration and discussion in a focus group, and categorization and analysis of the collected information, synergies between CDIO, MAGI, and ET were identified to enhance students' innovation (I-CAP) and entrepreneurial (E-CAP) capabilities. The results demonstrate how ET serves as a bridge between CDIO and MAGI by fostering innovative projects, an entrepreneurial mindset, and interdisciplinary collaboration. This integration not only strengthens technical and professional training but also has the potential to drive the creation of innovation-driven enterprises (IDE) and the development of the regional entrepreneurship and innovation ecosystem.

Keywords - CDIO, MAGI, workshop, industrial engineering, entrepreneurship and innovation ecosystem.

Las I-CAP impulsadas desde CDIO en la Estrategia de Taller: Desarrollando el ecosistema regional de emprendimiento e innovación

Duque Uribe, Verónica, PhD¹, Pantoja Ospina, Martín Alonso, PhD², and Restrepo Castaño, Martín Felipe³

^{1,2} Universidad Nacional de Colombia sede Manizales (Colombia), vduqueu@unal.edu.co, mapatojao@unal.edu.co;

³ Cámara de Comercio de Manizales por Caldas (Colombia), fortalecimiento@ccm.org.co

Abstract

Los retos cada vez más complejos que se presentan en la educación en ingeniería exigen no solo competencias técnicas sofisticadas, sino también capacidades de emprendimiento, innovación y liderazgo. Este artículo analiza la integración de dos enfoques complementarios: CDIO (Concebir, Diseñar, Implementar, Operar) y MAGI (Mentalidad, Ambiciosa, Global e Innovadora), mediada por la estrategia de taller (ET) implementada en el programa curricular de Ingeniería Industrial de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales. A través de una metodología cualitativa que incluyó un análisis de literatura relevante, la exploración y discusión en un grupo focal y la categorización y análisis de la información recolectada, se identificaron sinergias entre CDIO, MAGI y la ET, para potenciar las capacidades de innovación (I-CAP) y de emprendimiento (E-CAP) en los estudiantes. Los resultados muestran cómo la ET actúa como puente entre CDIO y MAGI, al promover proyectos innovadores, la mentalidad emprendedora y la colaboración interdisciplinaria. Esta integración no solo fortalece la formación técnica y profesional, sino que también puede impulsar la creación de empresas basadas en la innovación (IDE) y el desarrollo del ecosistema regional de emprendimiento e innovación.

Keywords - CDIO, MAGI, taller, ingeniería industrial, ecosistema de emprendimiento e innovación.

I. INTRODUCCIÓN

La enseñanza y el ejercicio de la ingeniería enfrentan retos cada vez más complejos en un mundo que exige no solo fuertes competencias técnicas, sino también habilidades empresariales, de innovación y de liderazgo. Consciente de este desafío, el programa de Ingeniería Industrial de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales, ha implementado y perfeccionado desde la década de los 90 la Estrategia de Taller (ET), como una metodología pedagógica centrada en la integración de conocimientos teóricos y habilidades técnicas con experiencias prácticas, que proporciona a los estudiantes un entorno de aprendizaje de la ingeniería donde pueden aplicar y experimentar con lo aprendido en un contexto real.

Una oportunidad identificada para elevar la ET a un nivel superior consiste en su articulación con dos enfoques que en la actualidad cobran gran relevancia en las esferas mundial y regional: el enfoque CDIO (Conceive, Design, Implement, Operate) y la estrategia MAGI (Mentalidad, Ambiciosa, Global

e Innovadora) derivada del MIT REAP (Massachusetts Institute of Technology - Regional Entrepreneurship Acceleration Program). El CDIO, adoptado globalmente en la educación en ingeniería, proporciona un marco para formar ingenieros que no solo dominen los fundamentos técnicos, sino que también sean capaces de concebir, diseñar, implementar y operar sistemas complejos, en un ambiente colaborativo y basado en proyectos. Por otro lado, MAGI, impulsado por la alianza Manizales Más, en colaboración con el MIT REAP, busca fortalecer el ecosistema de emprendimiento e innovación de la región a través del desarrollo de capacidades desde ambas perspectivas. Se asume que la articulación de la ET con los principios del CDIO y los objetivos de MAGI posibilitaría la creación de un enfoque educativo para la ingeniería más completo y en sintonía con las necesidades actuales y futuras del entorno industrial y empresarial local y regional. Esto se refleja particularmente en el estándar opcional de Emprendimiento en Ingeniería de CDIO, que incluye subcomponentes como la formación de equipos con habilidades adecuadas, la puesta en marcha de procesos técnicos, la construcción de una cultura de ingeniería y el establecimiento de procesos empresariales. A su vez, estos subcomponentes, desarrollados e implementados a través de la ET, permitirían en principio construir capacidades de innovación (I-CAP), equipando a futuros ingenieros con las habilidades necesarias para crear, liderar y gestionar organizaciones y proyectos innovadores, alineados con las metas de crecimiento y sofisticación del ecosistema de emprendimiento promovido por MAGI.

El objetivo del presente trabajo es analizar y proponer la integración de los enfoques CDIO y MAGI, específicamente desde la ET del programa de Ingeniería Industrial de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales. Para tal fin, en la segunda sección se contextualizan los tres componentes objeto de integración. En la tercera sección se describe la metodología empleada. En la cuarta sección se presentan los resultados, en los cuales se discute cómo la ET se perfila como el puente que articula MAGI y CDIO. Así mismo, se plantean sinergias y mecanismos de articulación potenciales y se analiza cómo a través de distintos elementos de CDIO y de prácticas concretas que emanan de la ET podrían construirse en el mediano y largo plazo I-CAP. Finalmente, en la quinta

sección, se presentan las conclusiones y recomendaciones a futuro.

II. REFERENTE CONCEPTUAL

A. MAGI - MIT REAP

Manizales Más es una alianza para el desarrollo integral del ecosistema de emprendimiento de la región, que se ha enfocado en materializar un modelo de innovación integrando diferentes actores de carácter empresarial, gubernamental y académico, tanto públicos como privados [1]. Desde el año 2023, esta alianza se ha puesto en la tarea de “desarrollar el siguiente nivel del ecosistema de emprendimiento de la ciudad impulsado por las redes colaborativas por la innovación, para lograr la sofisticación y el crecimiento exponencial”. Lo anterior, a través de una transferencia recibida por el MIT REAP, que busca la generación de emprendimientos emergentes impulsados por la innovación. Tal como lo evidencian distintos estudios, MIT REAP ofrece un marco para evaluar y mejorar los ecosistemas de innovación regionales en contextos diversos. Güemes y Elizondo [2] presentan una metodología llamada RIDES (Regional Innovation-Driven Entrepreneurship System) para evaluar el desempeño de los sistemas de emprendimiento impulsados por la innovación en regiones específicas. Esta metodología, que combina el marco MIT REAP con la herramienta MICMAC (Matriz de Impactos Cruzados Multiplicación Aplicada a una Clasificación), permite a los responsables de políticas identificar y comprometer a los actores económicos clave para mejorar el ecosistema de innovación regional. Un caso de estudio aplicado en Monterrey, México, demuestra la utilidad de RIDES en la identificación de áreas críticas de mejora, especialmente en la financiación de la innovación, tradicionalmente dependiente de agencias gubernamentales, y en la baja participación del capital de riesgo. El estudio subraya la importancia de fortalecer tanto las I-CAP como las E-CAP para impulsar un crecimiento económico regional sostenido.

Cusumano [3] examina las complejidades del ecosistema de innovación y emprendimiento en Japón, que alguna vez fue un líder global en la creación de empresas tecnológicas y en la implementación de iniciativas de innovación. Sin embargo, en las últimas décadas, Japón ha visto una disminución significativa en la actividad emprendedora y la creación de nuevas empresas, a pesar de su alta capacidad de innovación, medida a través de patentes y desarrollos tecnológicos. Cusumano atribuye esta paradoja a factores culturales, educativos y sociales que desincentivan el riesgo y la experimentación, así como a la falta de acceso a capital de riesgo y apoyo institucional. El artículo destaca que, aunque Japón sigue produciendo emprendedores, estos no cuentan con el mismo nivel de apoyo y recursos que en otros países, limitando su impacto en la economía global.

Por su parte, Morgensztern [4] presenta una metodología cualitativa diseñada para evaluar el impacto del MIT REAP en los ecosistemas de innovación regionales que han participado en el programa. A través de entrevistas con ex-líderes de

equipos de diferentes regiones del mundo, el estudio identifica los factores clave de éxito y fracaso en la implementación de estrategias de innovación impulsadas por REAP. El análisis destaca la importancia de la dinámica de equipo, la alineación entre los actores regionales, y el diseño de políticas efectivas para mantener el impulso del ecosistema tras la finalización del programa. Las recomendaciones del estudio están dirigidas a mejorar la efectividad del MIT REAP en sus futuras implementaciones, optimizando su capacidad para generar un impacto positivo y duradero en los ecosistemas de innovación regionales.

La nueva estrategia planteada por Manizales Más es denominada MAGI, cuyas iniciales hacen referencia a: Mentalidad, Ambiciosa, Global e Innovadora. Así, se planea ejecutar el siguiente paso para el desarrollo del ecosistema de emprendimiento e innovación para los próximos cinco años. Sin embargo, para entender qué es el desarrollo del ecosistema de emprendimiento e innovación es importante dejar claridad sobre qué es emprendimiento y qué es innovación.

La innovación es un fenómeno observable en todo el mundo y puede evaluarse con una variedad de medidas de entrada, como el gasto en I+D, así como los resultados que incluyen publicaciones y patentes registradas (per cápita) [5]. Por otro lado, el emprendimiento es otro fenómeno observable, separado, capturado en medidas tales como la creación de nuevas empresas, los puestos de trabajo creados por empresas jóvenes, financiación de capital de riesgo (Venture Capital, VC) y con resultados como ofertas públicas iniciales (OPI) o adquisiciones. El emprendimiento en este sentido es, en cierto modo, un fenómeno más generalizado, aunque las regiones con IDE (empresas impulsadas por la innovación) exitosas de alto crecimiento (en lugar de solo PYMES más tradicionales, es decir, pequeñas y medianas empresas) son en sí mismas raras y altamente concentradas [5].

En cada región existe por ende una capacidad innovadora y una capacidad empresarial, las cuales son activos distintos que con trabajo conjunto son complementarias y buscan el crecimiento y desarrollo de la región. Para el caso de Manizales, se ha venido desarrollando un proceso de crecimiento en capacidades empresariales, pero las capacidades innovadoras, sin decir que son deficientes, se encuentran en un nivel inferior a las empresariales.

La capacidad empresarial se caracteriza por construir y escalar nuevas empresas para el mundo hasta la madurez. Es la base de la creación de las PYMES, pero también de nuevas empresas de alto potencial, especialmente IDE [1]. Estas capacidades empresariales se desarrollan en mayor medida en emprendedores, mentores e inversionistas. La capacidad innovadora se caracteriza por desarrollar ideas nuevas para el mundo a través de la traducción y el escalado. A menudo se basa en la experiencia en ciencia e ingeniería, pero puede incluir modos novedosos de modelos de negocios [1]. Estas capacidades de innovación se desarrollan en mayor medida en universidades, centros de I+D, redes de investigación y centros médicos.

La capacidad empresarial y la capacidad innovadora no pueden ir desligadas. El reto referente a la estrategia MAGI es lograr alinear y entrelazar estas dos capacidades, con el fin de combinar las ideas innovadoras y las oportunidades de emprendimiento, para facilitar el florecimiento de IDE. Las IDE nacen con el interés explícito de desarrollar una ventaja competitiva basada en la innovación que puede surgir de un nuevo modelo en la cadena de abastecimiento para crecer muy rápidamente y escalar más allá de los mercados locales y aspirar a un crecimiento significativo, un insight científico o un cambio tecnológico [1].

En la generación de IDE es donde se centra el foco de la nueva estrategia MAGI y también es allí donde se pretende impactar a través de la ET a los estudiantes, para lograr que su visión y perspectiva se oriente a las capacidades de innovación. Se busca que fortalezcan las habilidades para desarrollar nuevas tecnologías para el mundo y estas sean articuladas a la capacidad empresarial a través del proceso metodológico del enfoque CDIO.

B. CDIO

En esta era de la cuarta revolución industrial, las ciencias y las disciplinas como la Ingeniería, en todas sus expresiones, tienen la necesidad y obligación de atender a las demandas que este nuevo entorno les plantea. Esta realidad implica necesariamente repensar y actualizar las formas tradicionales en las cuales se han venido formando los ingenieros, teniendo en cuenta dentro de este proceso la premisa de que “la responsabilidad del hombre de ser un administrador de la naturaleza, es claramente cierto que la creación de nuevos productos y la utilización inteligente y sostenible de los recursos naturales siguen siendo tareas de los ingenieros de hoy” [6].

Se requieren por tanto personas que, formadas como ingenieros con conocimientos técnicos y habilidades personales, sean técnicamente competentes en sus funciones y deberes como profesionales. Además, estos nuevos ingenieros deben ser socialmente responsables para entender que el nuevo mundo que están construyendo a partir de la innovación y el emprendimiento sea factible en el largo plazo, donde los sistemas tecnológicos que ellos diseñan sean sostenibles.

En el marco que se ha descrito, ha surgido el enfoque CDIO [6] para afrontar el reto de “educar a los estudiantes como ingenieros integrales que entienden cómo concebir, diseñar, implementar y operar productos, servicios, procesos y sistemas de ingeniería complejos y de valor agregado en un entorno moderno y en equipo”.

El CDIO propone un contexto de aprendizaje, no una sucesión de contenidos. Este enfoque es no prescriptivo, pues se convierte en una cultura para la formación y el futuro ejercicio de la ingeniería en el mundo actual, que ha sido implementado y validado en muchas universidades alrededor del mundo. De esta manera, ha ganado popularidad como un marco educativo integral diseñado para preparar a los ingenieros del futuro, buscando cerrar la brecha entre la educación tradicional y las necesidades de la industria. Distintos estudios recientes se han

orientado a analizar la implementación de este enfoque, destacando sus beneficios, desafíos y estrategias de implementación.

Torsakul et al. [7] describen cómo el programa de Ingeniería Industrial en una universidad tailandesa adoptó el enfoque CDIO para mejorar su currículo basado en contenidos hacia uno basado en resultados. Este cambio fue impulsado por la necesidad de cumplir con los estándares de acreditación de TABEE (Thailand Accreditation Body for Engineering Education). El estudio detalla cómo se realizó un mapeo entre los resultados de aprendizaje del CDIO, el marco de calificación tailandés y los criterios de TABEE, demostrando la compatibilidad entre los tres sistemas. La implementación de CDIO resultó en mejoras continuas en el programa, lo que facilitó la obtención de la acreditación y reflejó mejoras en la calidad de los graduados.

Lenin, Kumar y Selvakumar [8] analizan la aplicación del enfoque CDIO en el contexto de la educación en ingeniería en India que, si bien ha sido objeto de varias reformas, aún enfrenta desafíos significativos para dar respuesta a las necesidades empresariales. El estudio sugiere estrategias de implementación de CDIO a nivel macro y micro, abordando las diferencias en la calidad de los estudiantes y las instituciones. Además, se identifican los obstáculos para la implementación de CDIO, como la resistencia al cambio y la necesidad de una inversión considerable en infraestructura. El estudio concluye que, a pesar de estos desafíos, la implementación efectiva de CDIO puede mejorar significativamente la calidad de la educación en ingeniería en India.

Chuchalin [9] aborda la evolución del enfoque CDIO para adaptarse a los programas de posgrado en ingeniería, específicamente en los niveles de maestría y doctorado. El estudio introduce nuevos modelos conceptuales: FCDI (Forecast, Conceive, Design, Implement) para maestrías y FFCD (Foresight, Forecast, Conceive, Design) para doctorados, ajustando el enfoque CDIO para enfatizar la previsión y el diseño. Estos modelos están diseñados para preparar a los estudiantes para actividades innovadoras y de investigación, reflejando la necesidad de una formación más especializada en estos niveles educativos. La implementación de estos modelos en una universidad de Rusia demostró ser exitosa y podría ser adoptada por otras universidades.

Gallego y Tibaduiza [10] presenta un análisis detallado del proceso de acreditación ABET en los programas de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, destacando cómo la implementación del enfoque CDIO fue fundamental para alcanzar este objetivo. El estudio documenta la transición del diseño curricular hacia una evaluación basada en resultados de aprendizaje, y cómo el enfoque CDIO facilitó esta transición al proporcionar un marco estructurado para desarrollar las competencias necesarias en los estudiantes. Además, se destacan los desafíos curriculares futuros, subrayando la importancia de mantener una mejora continua en los programas académicos.

Dentro de los objetivos del enfoque CDIO se encuentra el relacionado con educar a los estudiantes de ingeniería para que dominen los conocimientos y fundamentos técnicos de su profesión, además de liderar la creación de nuevos productos y servicios, en tanto simultáneamente comprendan la importancia y el impacto estratégico de la investigación y el desarrollo tecnológico en la sociedad.

Para desplegar el enfoque CDIO y operacionalizar estos objetivos, se ha formulado un conjunto de doce estándares obligatorios y cuatro opcionales. Dentro de las categorías opcionales destaca el tercero, que se refiere al Emprendimiento en Ingeniería, el cual busca “preparar activamente a los graduados para crear empresas comerciales basadas en tecnología con el fin de producir valores económicos y de otro tipo para la sociedad”.

Para el diseño del estándar opcional de Emprendimiento en Ingeniería se incluyen de forma integral los demás estándares obligatorios del enfoque CDIO. Particularmente, este estándar está compuesto por ocho categorías que lo estructuran [6]: 1) Fundación de empresas: formulación, liderazgo y organización, 2) Desarrollo del Plan de Negocios, 3) Capitalización y finanzas de la empresa, 4) Comercialización de productos innovadores, 5) Concebir productos y servicios en torno a las nuevas tecnologías, 6) El sistema de innovación: redes, infraestructura y servicios, 7) Formación del equipo e inicio de procesos de ingeniería (concepción, diseño, implementación y operación) y 8) Gestión de propiedad intelectual.

C. La ET

Desde inicios de la década de los 90, el programa de Ingeniería Industrial de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales, ha privilegiado la ET como metodología principal para la formación de sus ingenieros. Esta estrategia pedagógica de enseñabilidad representa la columna vertebral de la formación en la profesión, cuyo objeto de estudio lo constituyen los sistemas sociotecnológicos de producción de bienes y servicios y sus fenómenos relacionados.

La línea de Talleres en Ingeniería Industrial se basa en el constructivismo [11,12], el aprendizaje significativo [13] y el aprendizaje por experiencias [14] e invoca dentro de cada uno de sus componentes los saberes de distintas disciplinas y áreas de desempeño para construir la profesión. Secuencialmente los Talleres con sus objetivos específicos claramente diferenciados inician en tercer semestre, estos son: Taller de Fundamentos de Ingeniería Industrial, Taller de Ingeniería de Materiales, Taller de Ingeniería de Procesos, Taller de Estudio del Trabajo, Taller de Sistemas de Información, Taller de Producción y Logística y Taller de Diseño de Plantas Industriales. La intensidad horaria semanal de los Talleres es de 8 a 10 horas presenciales por semana, con 4 a 5 créditos académicos por semestre y por lo general los orientan dos profesores de profesiones diferentes. Sus elementos centrales son el trabajo en equipo y la solución de problemas, como componente básico del denominado

método de diseño en ingeniería [15] para la solución de problemas abiertos.

Si bien las áreas de enfoque de los Talleres son diversas, todos tienen en común la tendencia a involucrar en gran medida un componente práctico, inherente al concepto de Taller, como espacio abstracto en donde se enseña y se aprende el arte de la Ingeniería Industrial. Según la Real Academia Española, una de las acepciones de la palabra taller es “lugar en que se trabaja una obra de manos”. Una búsqueda simple en Google revela que la palabra "taller" proviene del francés *atelier*, que significa "estudio" o "lugar de trabajo", pero *atelier* a su vez tiene sus raíces en el latín *artellarium*, derivado de *artellum*, que es un diminutivo de *ars*, *artis*, que significa "arte" u "oficio".

Esta ET, que ha sido entonces un pilar fundamental en la formación de ingenieros industriales, se perfila además como un puente clave para integrar las capacidades de innovación desarrolladas por MAGI y los principios del enfoque CDIO. Al ser metodologías pedagógicas basadas en el aprendizaje práctico y la solución de problemas, los talleres permiten aplicar los conocimientos adquiridos en un contexto real y promueven el trabajo en equipo, el liderazgo y la capacidad de tomar decisiones en situaciones complejas; atributos que se alinean con los objetivos de MAGI, de fomentar capacidades de innovación y emprendimiento, y particularmente con el estándar opcional CDIO del Emprendimiento en Ingeniería, para en términos generales contribuir en la formación de ingenieros integrales.

III. METODOLOGÍA

Este estudio se basó en un enfoque metodológico cualitativo estructurado en tres etapas (Fig. 1), desarrolladas con la participación de un grupo focal conformado por dos docentes universitarios y un profesional del Área de Fortalecimiento Empresarial de la Cámara de Comercio de Manizales por Caldas. La conformación del grupo focal buscó integrar a distintos actores del ecosistema de emprendimiento e innovación regional, para asegurar diversidad de percepciones y perspectivas [16].

En la primera etapa se realizó un análisis de literatura relevante sobre los enfoques de CDIO y MAGI, que incluyó documentos institucionales y artículos científicos. Así mismo, se revisaron informes relacionados con la implementación de la ET en la Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales. En la segunda etapa se llevaron a cabo exploraciones y discusiones en el grupo focal, moderadas por uno de los docentes universitarios, a partir de preguntas abiertas sobre las sinergias entre CDIO, MAGI y ET. Adicionalmente, se identificaron proyectos desarrollados en el marco de la ET, con el fin de analizar su contribución al desarrollo de capacidades empresariales e innovadoras en estudiantes. Las sesiones fueron documentadas a través de notas de campo generadas por los participantes. En la tercera etapa se categorizó y analizó la información recolectada, identificando sinergias y oportunidades en la integración de los enfoques.



Fig. 1 Metodología utilizada

Fuente: elaboración propia.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las exploraciones y discusiones llevadas a cabo en el grupo focal conformado permitieron identificar resultados desde tres perspectivas: sinergias entre MAGI, CDIO y la ET; I-CAP impulsadas por CDIO y resultados potenciales de la integración. A continuación se presentan en detalle los hallazgos en cada una de estas categorías.

A. Sinergias y mecanismos de articulación potenciales

La articulación que provee la ET para facilitar el diálogo bilateral entre MAGI y CDIO tiene el potencial de convertirse en el prototipo local para crear sinergias que transformen la formación académica y que a su vez aporten al desarrollo de la nueva estrategia del ecosistema de emprendimiento e innovación regional, a través de mecanismos como los siguientes:

- Desarrollo de proyectos innovadores: Los talleres proporcionan un entorno ideal para que los estudiantes trabajen en proyectos que requieran concebir, diseñar, implementar y operar soluciones innovadoras a problemáticas reales. Estos proyectos están orientados a desarrollar en el estudiante capacidades empresariales con enfoque hacia la innovación, lo que permite que la ET y la incorporación del CDIO se alineen con los objetivos de MAGI, en tanto las ideas de proyectos pueden tener valor no solo académico sino también potencial comercial escalable y global, contribuyendo así al crecimiento del ecosistema emprendedor y a su evolución hacia un modelo de innovación sostenible.

- Desarrollo de empresas impulsadas por la innovación: La formación por medio de la ET vinculada a los procesos de CDIO puede facilitar la creación de ventajas competitivas significativas en las empresas que los estudiantes llegarán a liderar o crear. Esta ventaja competitiva se verá reflejada en la capacidad de combinar recursos e ideas de manera innovadora

y de desarrollar productos y servicios útiles y valiosos para el mercado.

- Desarrollo del ecosistema de innovación: La incorporación en la ET de Concebir, Desarrollar, Implementar y Operar viene siendo una estrategia que permitirá la creación y el crecimiento de nuevas IDE, lo que repercute a nivel del ecosistema en beneficios sociales y económicos que se dan voluntariamente cuando dichas empresas crecen para servir como motor de la economía.

- Desarrollo de mentalidad emprendedora basada en la innovación: Al incorporar los principios del estándar de Emprendimiento en Ingeniería de CDIO, los talleres pueden incluir contenidos y actividades que promuevan la mentalidad emprendedora. Esto incluye la formulación de planes de negocio, la identificación de oportunidades de mercado y la evaluación de la viabilidad de nuevas tecnologías. Con el diferencial de la incorporación del componente innovador, “estas nuevas IDE se forman con la intención explícita de generar una ventaja competitiva basada en nuevas innovaciones (que pueden tener su origen en conocimientos científicos, cambios técnicos, nuevos modelos comerciales, cadenas de suministro, etc.), crecer rápidamente, escalar mucho más allá de los mercados locales, y aspirar a un crecimiento significativo” [5].

- Interdisciplinariedad y colaboración: La ET ya integra saberes de diversas disciplinas, lo cual es fundamental para la innovación y el emprendimiento. La colaboración entre diferentes áreas del conocimiento es un aspecto central tanto en MAGI como en CDIO y los talleres ofrecen un espacio para que los estudiantes experimenten esta colaboración de primera mano.

- Desarrollo de habilidades de liderazgo: El enfoque CDIO enfatiza la importancia del liderazgo en la formación de ingenieros. A través de la ET, los estudiantes tienen la oportunidad de asumir roles de liderazgo en proyectos complejos, desarrollando habilidades que serán esenciales para desplegar capacidades de innovación y emprendimiento.

- Conexión con el ecosistema local: La ET puede servir como un vínculo directo entre la universidad, la academia y el ecosistema de emprendimiento e innovación de la región. A través de la vinculación sistemática de los estudiantes a entender, conocer y lograr la creación de una cultura permeada por la innovación y el emprendimiento, con la colaboración de instituciones como Manizales Más y la Cámara de Comercio de Manizales por Caldas, los estudiantes pueden involucrarse en proyectos que tengan un impacto real en la comunidad actual y así tener una visión ampliada de las problemáticas del día a día empresarial, para proponer soluciones apoyadas en el conocimiento adquirido a través de la estrategia de taller.

B. Las I-CAP impulsadas desde CDIO

El estándar opcional de Emprendimiento en Ingeniería está conformado por ocho componentes (Fig. 2). Luego de analizarlos, se identificaron articulaciones y contribuciones particulares en los ítems 5.2.2 Desarrollo del plan de negocios,

en dos de sus subcomponentes; 5.2.5 Concebir productos y servicios en torno a las nuevas tecnologías, en uno de sus subcomponentes y 5.2.7 Formación del equipo e inicio de procesos de ingeniería (concepción, diseño, implementación y operación), el cual se desagrega en cuatro subcomponentes, cada uno de los cuales desde el enfoque CDIO [6] construye I-CAP que pueden hacerse visibles, o implementarse si acaso están ausentes, dentro de la ET como metodología principal para la formación de ingenieros industriales.

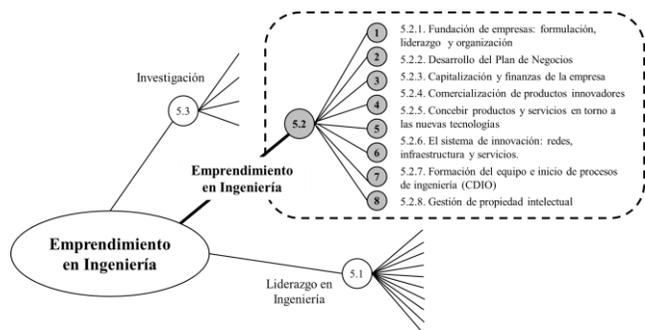


Fig. 2 Desagregación del estándar opcional de Emprendimiento en Ingeniería

Fuente: elaboración propia a partir de [6].

Ítem 5.2.2 Desarrollo del plan de negocios

- Formar a los ingenieros industriales en “una necesidad en el mundo que tú llenaras”: Es fundamental crear en los ingenieros industriales un alto grado de curiosidad y sentido crítico frente a las problemáticas y necesidades del mundo actual, entender el entorno. Analizar las opciones frente a las problemáticas actuales y las posibilidades y oportunidades que en él se conciben día a día es parte fundamental del trabajo articulador que debe existir en la ET, pues esta capacidad de análisis del entorno y de sus problemáticas llevará al estudiante no solo a conocer el mundo y sus retos, sino también a dar solución a dichas problemáticas con productos o servicios altamente innovadores y escalables. Esa necesidad que llenará el estudiante debe ir concebida por el desarrollo de sus capacidades innovadoras que permitan tener en un corto plazo una IDE.

- Formar a los ingenieros industriales en “una tecnología que puede convertirse en un producto”: alineado con el argumento anterior, el estudiante debe tener la capacidad de comprender técnicamente como puede desarrollar soluciones de una manera tangible y concisa. Para ello, es fundamental que tenga la capacidad de crear o aplicar una tecnología, entendida como una solución innovadora, que pueda dar respuesta a las necesidades concebidas y evaluadas.

Ítem 5.2.5 Concebir productos y servicios en torno a las nuevas tecnologías

- Formar a los ingenieros industriales en “evaluar la capacidad de su empresa para innovar en función de la tecnología”: Para generar y desarrollar productos o servicios altamente

innovadores es necesario comprender la capacidad operativa requerida para satisfacer la demanda esperada del mercado y generar procesos de innovación en función de la tecnología.

Ítem 5.2.7 Formación del equipo e inicio de procesos de ingeniería (concepción, diseño, implementación y operación)

- Formar a los ingenieros industriales en “contratar la combinación de habilidades adecuadas”: El equipo de trabajo es parte fundamental para la creación de valor en los productos y servicios altamente innovadores. Así mismo, la interculturalidad, la interdisciplinariedad y la capacidad de tener un equipo con puntos de vista, experiencias y perspectivas diferentes, que aporten una visión global y diferencial de las problemáticas o situaciones. Sin embargo, el manejo de dicho equipo, el liderazgo, la comunicación y la capacidad de síntesis son también esenciales para el logro de los objetivos del proyecto a desarrollarse para la creación de una IDE. Es por ello que el ingeniero industrial debe tener la capacidad de contratar a su equipo de trabajo, entendiendo los criterios y las necesidades para el logro oportuno de los objetivos propuestos.

- Formar a los ingenieros industriales en “la puesta en marcha del proceso técnico”: pensar en la ejecución práctica del proceso técnico fomenta la capacidad de los estudiantes de evaluar la viabilidad técnica de sus proyectos y de los pasos para su implementación. En este sentido, se fortalece el pensamiento iterativo que se requiere para preparar, ajustar y mejorar las soluciones tecnológicas antes de ser lanzadas al mercado, dimensionando su escalabilidad y adaptabilidad y anticipando problemas de operatividad y calidad que reduzcan la incertidumbre de soluciones innovadoras.

Como resultado de la articulación y de las I-CAP impulsadas desde CDIO, la ET se dimensiona como un puente entre estos, según se ilustra en la Fig. 3.



Fig. 3 La ET como puente entre MAGI - MIT REAP y CDIO

Fuente: elaboración propia a partir de [1,6].

C. Resultados potenciales de la integración

Algunos de los resultados potenciales del puente que tiende la ET para propiciar la integración y relación bilateral entre los enfoques de MAGI y CDIO podrían ser los siguientes:

- Creación de nuevas empresas basadas en la innovación: Se espera que los proyectos desarrollados en los talleres posean capacidad de evolucionar hasta convertirse en nuevas empresas basadas en la innovación, la creación de nuevos modelos de negocio diferenciales que permitan tener un alcance mayor y un proceso escalable, respaldadas por las capacidades desarrolladas a través de MAGI y apoyadas por el ecosistema local de emprendimiento, que busca potenciar las capacidades innovadoras y empresariales.
- Mayor sofisticación del ecosistema: La combinación de una formación técnica sólida desarrollada a partir de la ET, con una mentalidad innovadora y emprendedora puede contribuir a la sofisticación del ecosistema de emprendimiento e innovación regional, al elevar el nivel de complejidad y especialización de las iniciativas empresariales. Adicionalmente, la sensibilización desde los talleres del programa de Ingeniería Industrial puede estimular la adopción de tecnologías y metodologías en la industria local y, a medida que los estudiantes adquieren habilidades para desarrollar productos y servicios de alto valor, el ecosistema se vuelve más atractivo para inversionistas y actores clave.
- Formación de ingenieros líderes: Los ingenieros formados bajo esta integración estratégica estarán mejor preparados para asumir roles de liderazgo en sus futuras carreras, ya sea en el ámbito empresarial, industrial o académico.
- Impacto social y económico: Al fortalecer las capacidades empresariales e innovadoras de los estudiantes, se espera un impacto positivo en la economía local, con la creación de empleo, el desarrollo de nuevas tecnologías y la mejora de la calidad de vida en la región.

V. CONCLUSIONES

En el presente documento se ha reflexionado sobre la ET, una metodología pedagógica basada en el principio de "aprender haciendo" y sustentada en pedagogías activas, que con el tiempo se ha perfilado y perfeccionado como una herramienta valiosa en la enseñanza y aprendizaje de la Ingeniería Industrial. Esta estrategia no solo ha demostrado ser efectiva en la formación técnica de los estudiantes, sino que también ha abierto nuevas posibilidades para la implementación de iniciativas de aprendizaje activo y colaborativo, fundamentales en el contexto de la educación contemporánea.

La estrategia MAGI, que promueve una mentalidad ambiciosa, global e innovadora, se complementa de manera natural con el enfoque CDIO, centrado en la concepción, diseño, implementación y operación de sistemas complejos. De manera conjunta, estos enfoques pueden consolidar un modelo de excelencia educativa en la formación de ingenieros industriales, con alto impacto en el desarrollo económico y social de la región. Así mismo, representan una oportunidad para repensar y actualizar las metodologías de enseñanza en ingeniería, alineándose con las exigencias actuales del entorno y la creación de valor a largo plazo.

La integración que posibilita la ET entre los enfoques CDIO y MAGI representa una evolución significativa en la formación de ingenieros industriales, permitiendo una respuesta más eficaz a los desafíos que plantea la cuarta revolución industrial. A lo largo de este documento, se ha delineado cómo esta articulación no solo puede mejorar la formación técnica de los futuros ingenieros industriales, sino también el desarrollo de competencias empresariales, de liderazgo y de I-CAP, esenciales para liderar en un entorno global cada vez más dinámico y competitivo.

El estándar opcional de Emprendimiento en Ingeniería del enfoque CDIO y sus componentes discutidos se consideran fundamentales para impulsar el desarrollo de I-CAP, en el contexto de mediación por la ET. A través del desarrollo de planes de negocio, se fomenta en los futuros ingenieros la comprensión de las necesidades del mercado global y la concepción de productos y servicios escalables que resuelvan problemáticas reales. Así mismo, el entrenamiento en la identificación y aplicación de tecnologías que se conviertan en soluciones factibles y viables contribuye al desarrollo de habilidades para evaluar la capacidad operativa de futuras empresas en función de la tecnología, al tiempo que la formación en la creación de equipos efectivos y en la puesta en marcha de procesos técnicos permite aprovechar al máximo la diversidad de conocimientos y asegurar que las soluciones concebidas en etapas tempranas se materialicen con éxito en forma de Empresas Impulsadas por la Innovación (IDE).

Los autores del presente trabajo consideran que, sobre la base de los planteamientos aquí desarrollados y reflexionados, se contribuye en el proceso de búsqueda de soluciones de mediano y largo plazo, que articulen de forma efectiva la formación del capital humano requerido por el Ecosistema de Emprendimiento e Innovación en Manizales. En principio sugiere un trabajo específico a desarrollar con el programa de Ingeniería Industrial de la Universidad Nacional de Colombia en la búsqueda de un prototipo que modele la estrategia sugerida para que sea replicable dentro de la misma universidad al igual que también sugiere el apoyo de los diferentes grupos de interés, ejemplo particular Cámara de Comercio de Manizales por Caldas, para que se haga escalable dentro de las Instituciones de Educación Superior del ecosistema.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, a Manizales Más y a la Cámara de Comercio de Manizales por Caldas, organizaciones que proporcionaron los recursos formativos y logísticos para el desarrollo de este trabajo.

REFERENCIAS

- [1] MIT REAP Regional Entrepreneurship Acceleration Program, Manizales Más. <https://reap.mit.edu/cohort/caldas-colombia/>.
- [2] D. Güemes-Castorena, and A. Elizondo-Noriega, "Regional Innovation-Driven Entrepreneurship System: A Diagnosis Methodology for Engagement", 2022, *Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET)*, pp. 1–11.

- [3] M.A. Cusumano, “The puzzle of Japanese innovation and entrepreneurship”, *Communications of the ACM*, vol. 59, no. 10, pp. 18–20, 2016.
- [4] A. Morgensztern, “Design of a Robust Qualitative Method to Assess MIT REAP Impact on Formerly Engaged Innovation Ecosystems”, *Massachusetts Institute of Technology*. <https://play.google.com/store/books/details?id=R39e0AEACAAJ>.
- [5] P. Budden, and F. Murray, “Marco de trabajo del MIT para los stakeholders en la construcción y aceleración de ecosistemas de innovación” (Documento de trabajo), *Laboratorio de Ciencia y Políticas de la Innovación del MIT*, 2019.
- [6] E.F. Crawley, J. Malmqvist, S. Östlund, D.R. Brodeur, and K. Edström, *Rethinking Engineering Education: The CDIO Approach*, Springer, 2014.
- [7] S. Torsakul, A. Memon, S. Triwanapong, and N. Kuptasthien, “CDIO- The Framework for Outcome-Based Engineering Education for Accreditation: A Case Study of Thai Industrial Engineering Program”, *Asean Journal of Engineering Education*, vol. 3, no. 1, 2019.
- [8] N. Lenin, M.S. Kumar, and G. Selvakumar, “Application of Conceive, Design, Implement and Operate (CDIO) Strategy for the Development of Engineering Education in Indian Perspective”, *Journal of Education*, vol. 203, no. 1, pp. 41–48, 2023.
- [9] A. Chuchalin, “Evolution of the CDIO Approach: BEng, MSc, and PhD Level”, *European Journal of Engineering Education*, vol. 45, no. 1, pp. 103–12, 2020.
- [10] L.E. Gallego, and D. Tibaduiza, “Curricular Experiences Leading to the ABET Accreditation in the Electrical and Electronics Engineering Programs”, *Ingeniería e Investigación*, vol. 43, no. 2, 2023.
- [11] J. Piaget, “Part I: Cognitive development in children: Piaget / Development and learning”, *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 2, no. 3, pp. 176-186, 1964.
- [12] L.S. Vygotsky, *Mind in society: the development of higher psychological processes*, Cambridge, Harvard University Press, 1978.
- [13] D. Ausubel, *Is there a discipline of Educational Psychology?*, American Educational Research Association, pp. 232-234, 1969.
- [14] D.A. Kolb, R.E. Boyatzis, and C. Mainemelis, “Experiential learning theory: Previous research and new directions”, In *Perspectives on thinking, learning, and cognitive styles*, Routledge, pp. 227-247, 2014.
- [15] P. Mayor Grech, *Introducción a la Ingeniería con enfoque a través del Diseño*, Pearson, 2001.
- [16] A. Bryman and E. Bell, *Business Research Methods*, Oxford, 2011.