

# Ecosistema de innovación en ingeniería: transformación digital y gestión de laboratorios universitarios

**Laury Dix Rhenals, Óscar Andrés Tobar Rosero, Walter Lugo Ruiz Castañeda**

**Universidad Nacional de Colombia  
Medellín, Colombia**

## Resumen

El presente artículo propone un modelo de gestión para laboratorios universitarios de ingeniería en el marco del ecosistema de innovación, con base en un estudio aplicado desarrollado en la Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia. A partir de un diagnóstico institucional, análisis comparativo entre universidades y entrevistas a docentes e investigadores, se identificaron limitaciones estructurales en infraestructura, baja digitalización, procesos manuales, y debilidad en la articulación con el entorno productivo. Estos hallazgos motivaron el diseño de un modelo de gestión fundamentado en tres pilares estratégicos: (1) Digitalización y Automatización, mediante el uso de plataformas digitales, tecnologías IoT y computación en la nube para la trazabilidad y eficiencia operativa; (2) Interconexión y Colaboración, mediante redes de laboratorios que faciliten proyectos conjuntos y acceso remoto a recursos; y (3) Gestión Basada en Datos e Innovación Abierta, con el uso de inteligencia artificial para optimizar procesos y promover la transferencia tecnológica. El modelo se orienta a fortalecer la función estratégica de los laboratorios como nodos articuladores en el ecosistema de innovación en ingeniería, alineado con estándares de calidad, transformación digital y sostenibilidad académica.

**Palabras clave:** gestión de laboratorios universitarios; ecosistemas de innovación; transformación digital; ingeniería; digitalización; innovación abierta; automatización

## Abstract

*This article presents the design of a management model for university engineering laboratories, based on an institutional diagnosis of the Faculty of Mines at the National University of Colombia, a comparative analysis between institutions, and a review of international references. The study identifies weaknesses in infrastructure, low levels of digitalization, limited process automation, and insufficient engagement with the productive sector. Based on these findings, a management model*

*is formulated around three strategic pillars: (1) Digitalization and Automation, through the use of technologies such as IoT and cloud computing; (2) Interconnection and Collaboration, by creating laboratory networks and using virtual and remote environments; and (3) Data-Driven Management and Open Innovation, supported by artificial intelligence and technology transfer strategies. The model aims to position laboratories as strategic nodes within the innovation ecosystem in engineering, strengthening their role in digital transformation, educational quality, and sustainable technological development.*

**Keywords:** *university laboratory management; innovation ecosystems; digital transformation; engineering; digitalization; open innovation; automation*

## 1. Introducción

La transformación digital, impulsada por la Cuarta Revolución Industrial, ha redefinido el papel de las universidades en los ecosistemas de innovación. Estos ecosistemas se configuran como redes dinámicas de actores —academia, industria, gobierno, sociedad civil y medio ambiente— que coevolucionan en función de la generación, transferencia y aplicación del conocimiento. En este escenario, los laboratorios universitarios, tradicionalmente concebidos como espacios físicos de experimentación, emergen como plataformas estratégicas para el desarrollo científico y tecnológico.

Sin embargo, en contextos como el colombiano, estos espacios enfrentan obstáculos estructurales que limitan su impacto potencial. La desarticulación entre funciones misionales, la obsolescencia del equipamiento, la baja digitalización, la escasa interoperabilidad y la débil vinculación con el sector productivo son factores que restringen su inserción activa en los ecosistemas de innovación. La Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia no es ajena a esta situación. A pesar de su tradición académica y su infraestructura técnica, sus laboratorios carecen de una estrategia de gestión integral que potencie su rol transformador.

Frente a este desafío, el presente estudio propone un modelo de gestión para los laboratorios universitarios que permita fortalecer su participación dentro del ecosistema de innovación. Este modelo busca articular capacidades internas, optimizar procesos mediante tecnologías emergentes y facilitar la colaboración con actores externos, consolidando a los laboratorios como nodos clave en la innovación aplicada.

Desde el plano teórico, la investigación se sustenta en los desarrollos conceptuales de los ecosistemas de innovación (Moore, 1993; Adner, 2017; Granstrand & Holgersson, 2020), los modelos de hélice (Etzkowitz & Leydesdorff, 2000; Carayannis et al., 2012) y herramientas de análisis como el Ecosystem Pie Model (Talmir et al., 2020). En cuanto a referentes prácticos, se consideran experiencias internacionales de gestión de laboratorios que han incorporado tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT), la inteligencia artificial y la computación en la nube, promoviendo prácticas de innovación abierta y gestión basada en datos.

El objetivo general del estudio es diseñar un modelo de gestión para los laboratorios de la Facultad de Minas que fortalezca su rol en el ecosistema de innovación, incorporando estrategias de digitalización, automatización e interconexión. El modelo se construye a partir de un enfoque metodológico mixto, aplicado y descriptivo-propositivo, que incluye revisión bibliográfica, aplicación de encuestas, entrevistas semiestructuradas, análisis comparativo y validación con expertos institucionales.

Con esta propuesta, se espera contribuir al fortalecimiento de la infraestructura científica universitaria desde un enfoque sistémico y sostenible, que permita alinear las funciones misionales de los laboratorios con las demandas de innovación del entorno local, nacional e internacional.

## **2. Marco conceptual**

El marco conceptual de esta investigación se articula en torno a tres ejes principales: el ecosistema de innovación, la transformación digital en el ámbito universitario, y los modelos contemporáneos de gestión de laboratorios.

### **2.1 Ecosistemas de innovación**

El término "ecosistema de innovación" hace referencia a un conjunto dinámico de actores, relaciones, recursos y actividades que interactúan para fomentar la creación, desarrollo y difusión de innovaciones. Moore (1993) introdujo este concepto inspirándose en la biología, destacando la coevolución de empresas y organizaciones en entornos interdependientes. Más recientemente, autores como Adner (2017) y Granstrand & Holgersson (2020) han ampliado la noción al incluir estructuras organizativas, institucionales y tecnológicas que condicionan el desempeño innovador de una comunidad o territorio.

Modelos como la Triple Hélice (Etzkowitz & Leydesdorff, 2000), Cuádruple Hélice y Quintuple Hélice (Carayannis et al., 2012) han sido fundamentales para comprender cómo las interacciones entre universidad, industria, gobierno, sociedad civil y medio ambiente impulsan la generación de conocimiento y valor compartido. Desde esta perspectiva, los laboratorios universitarios actúan como nodos articuladores que integran múltiples dimensiones del ecosistema.

### **2.2 Transformación digital universitaria**

La digitalización en el ámbito universitario ha sido acelerada por la necesidad de modernizar procesos administrativos, mejorar la eficiencia operativa y responder a las demandas de una sociedad cada vez más interconectada. Tecnologías como IoT, inteligencia artificial, big data y plataformas en la nube están siendo utilizadas para mejorar la gestión de infraestructura, la trazabilidad de experimentos y la interoperabilidad entre actores.

En el caso de los laboratorios universitarios, esta transformación implica el paso de modelos operativos tradicionales hacia esquemas inteligentes, automatizados y colaborativos. La literatura reciente destaca experiencias de implementación de sistemas de gestión integrados, laboratorios

virtuales y remotos, así como prácticas de innovación abierta apoyadas por tecnologías digitales (Xie, 2019; Rossiter et al., 2024).

### 2.3 Modelos de gestión de laboratorios

La gestión eficiente de laboratorios universitarios requiere modelos organizativos que articulen infraestructura, talento humano, procesos y objetivos institucionales. En esta línea, el Ecosystem Pie Model (Talmir et al., 2020) proporciona una herramienta analítica útil para mapear elementos del ecosistema a nivel macro y micro, identificando interdependencias y flujos de valor.

Además, se han documentado enfoques basados en gestión curricular, modelos colaborativos (Hu et al., 2024), sistemas integrados de gestión (Liu, 2024) y plataformas de intercambio de recursos (Jundan Wang, 2024). Estos modelos comparten principios como la apertura, la flexibilidad, la interoperabilidad y el aseguramiento de la calidad.

Este marco conceptual permite sustentar teóricamente el modelo de gestión propuesto, integrando elementos estructurales, tecnológicos y estratégicos que definen el rol de los laboratorios en los actuales ecosistemas de innovación universitaria.

## 3. Metodología

La investigación se desarrolló bajo un enfoque metodológico mixto, de tipo aplicado y con alcance descriptivo-propositivo. El propósito fue diseñar un modelo de gestión contextualizado que fortalezca el rol de los laboratorios universitarios en el ecosistema de innovación en ingeniería, con base en la transformación digital y la articulación institucional.

### 3.1 Diseño metodológico

El estudio se estructuró en cinco fases principales:

**Revisión bibliográfica:** Se realizó una revisión sistemática de literatura científica en bases de datos como Scopus e IEE Xplore, con énfasis en los conceptos de ecosistemas de innovación, modelos de gestión de laboratorios, transformación digital universitaria y buenas prácticas internacionales en ingeniería.

**Diagnóstico institucional:** Se aplicaron encuestas estructuradas dirigidas a docentes, investigadores, personal técnico o responsables de la gestión de 38 laboratorios universitarios, distribuidos de la siguiente manera: 22 pertenecientes a la Facultad de Minas, 6 de otras sedes de la Universidad Nacional de Colombia (UNAL) y 10 de otras universidades del país. Las encuestas se diseñaron para evaluar dimensiones clave como infraestructura, digitalización, vinculación con la industria y automatización. Finalmente se incluyó la opción de expresar comentarios o apreciaciones adicionales sobre los laboratorios.

Diseño del modelo: A partir del análisis de la información recolectada, se formularon los pilares estratégicos del modelo de gestión propuesto, incorporando herramientas tecnológicas y principios de gobernanza colaborativa.

Validación del modelo: Se desarrolló una validación cualitativa con expertos institucionales en gestión de laboratorios y en innovación, quienes valoraron la pertinencia, aplicabilidad y escalabilidad del modelo.

### 3.2 Instrumentos y análisis

Las encuestas se estructuraron en siete secciones temáticas e incluyeron preguntas cerradas tipo Likert y preguntas abiertas para capturar información cuantitativa y cualitativa.

El análisis se realizó mediante técnicas descriptivas y análisis temático, lo que permitió triangular los resultados de las encuestas con las entrevistas y los hallazgos documentales.

Esta metodología permitió diseñar un modelo robusto, con sustento empírico y conceptual, alineado con las necesidades actuales de los laboratorios universitarios de ingeniería y sus desafíos en materia de innovación, digitalización y sostenibilidad.

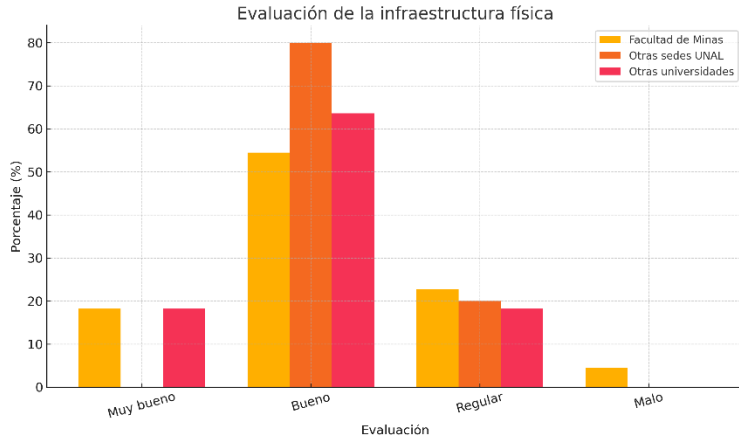
## 4. Resultados

Los resultados se presentan a partir de un análisis comparativo entre los laboratorios de la Facultad de Minas (22 respuestas), otras sedes de la Universidad Nacional (6 respuestas) y otras universidades del país (10 respuestas), considerando las dimensiones clave de infraestructura y equipamiento, digitalización, vinculación con la industria y automatización.

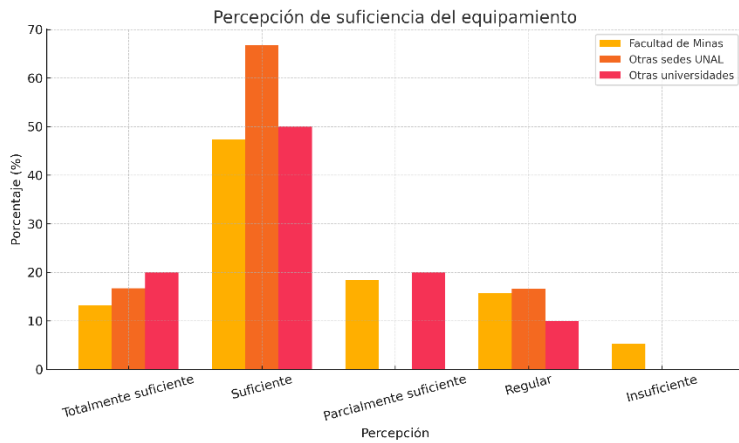
### 4.1 Diagnóstico institucional

#### Infraestructura física y equipamiento

En la Facultad de Minas, el 54,5% de los laboratorios calificaron su infraestructura como "buena", el 18,2% como "muy buena" y el 22,7% como "regular". Solo el 4,5% la consideró "mala". En comparación, en otras sedes de la UNAL el 80,0% calificó la infraestructura como "buena" y el 20,0% como "regular". En otras universidades, el 63,6% la calificó como "buena", el 18,2% como "muy buena" y el 18,2% como "regular". Estos datos muestran que aunque la percepción en la Facultad de Minas es predominantemente positiva, también presenta mayores niveles de dispersión y oportunidades de mejora en relación con otras sedes e instituciones.

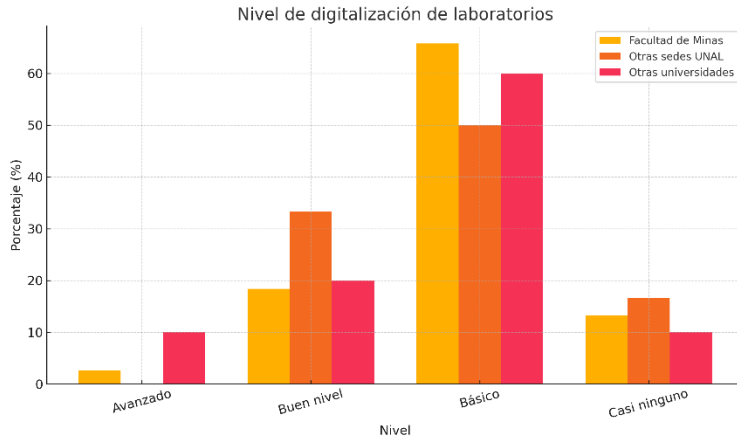


En cuanto al equipamiento, los laboratorios de la Facultad de Minas reportan percepciones diversas: el 47,4% lo considera "suficiente", el 18,4% "parcialmente suficiente", el 15,8% "regular", el 13,2% "totalmente suficiente" y el 5,3% "insuficiente". Esta diversidad contrasta con una mayor homogeneidad en otras instituciones, donde prevalecen calificaciones de suficiencia sin grandes extremos. Estos resultados revelan desigualdades en la dotación de equipos y la percepción de suficiencia, que impactan tanto la calidad de los procesos formativos como la capacidad de respuesta a proyectos de investigación o vinculación tecnológica.



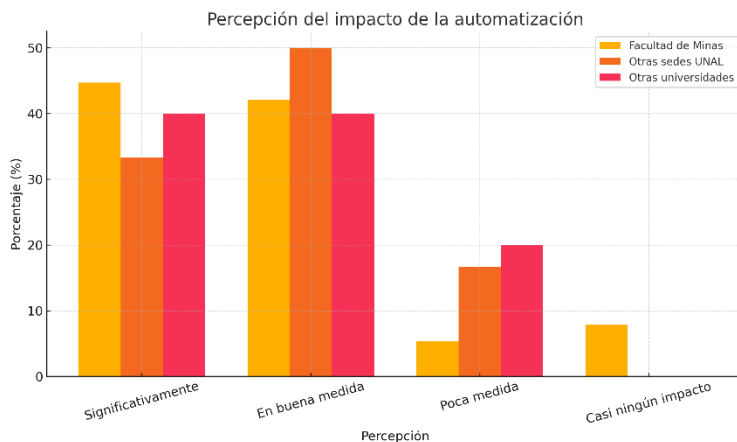
## Digitalización

En la Facultad de Minas, el 65,8% de los laboratorios indican contar con herramientas digitales básicas, el 18,4% las considera en un "buen nivel", el 2,6% reporta un uso "avanzado" y el 13,2% afirma que "casi no cuenta" con herramientas digitales. En contraste, en otras universidades del país, aunque también predominan los niveles básicos, se reporta una menor incidencia de laboratorios con niveles muy bajos de digitalización. Además, el 52,6% de los laboratorios de la Facultad de Minas señaló que la mayoría de sus procesos se realizan de forma manual, frente al 34,2% que realiza algunos procesos de manera manual, evidenciando un importante margen de mejora.



## Automatización

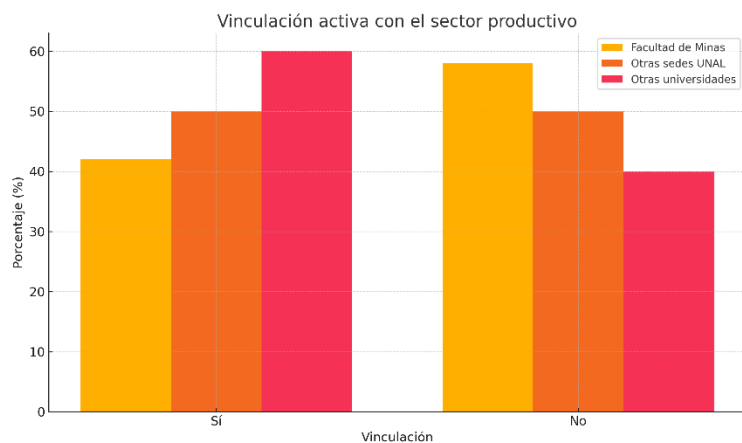
Las respuestas cualitativas en la Facultad de Minas destacan la necesidad urgente de automatizar procesos como la gestión de inventarios, la trazabilidad de resultados, la programación de mantenimiento, la elaboración de informes de ensayo y la atención de solicitudes de servicio. Estas necesidades fueron menos recurrentes en las respuestas provenientes de otras sedes o universidades. En cuanto a la percepción del impacto, el 44,7% de los laboratorios de la Facultad de Minas considera que la automatización mejoraría significativamente la eficiencia, mientras que el 42,1% estima que lo haría en buena medida. Este hallazgo refuerza la pertinencia del pilar de automatización dentro del modelo propuesto, especialmente en entornos técnicos como los de ingeniería.



## Vinculación con la industria

En la Facultad de Minas, el 42% de los laboratorios reporta vínculos activos con el sector productivo, principalmente mediante prestación de servicios especializados y colaboración en proyectos. En contraste, en otras sedes y universidades, las relaciones tienden a estar más focalizadas en áreas específicas como salud o biotecnología, con dinámicas propias de esos sectores. Sin embargo, en todos los casos se evidencia una carencia de mecanismos institucionales

robustos para sistematizar estas relaciones y maximizar su impacto. Esto limita el potencial de los laboratorios como plataformas de innovación abierta y transferencia tecnológica.



Los resultados reflejan fortalezas importantes en la infraestructura básica y un fuerte potencial en la automatización y vinculación externa, particularmente en la Facultad de Minas. No obstante, también se identifican brechas significativas en digitalización y articulación institucional, que justifican la necesidad de un modelo de gestión adaptado a las exigencias del ecosistema de innovación en ingeniería.

#### 4.2 Modelo de gestión

Con base en los hallazgos derivados del diagnóstico institucional, el análisis comparativo y la revisión de buenas prácticas internacionales, se propone un modelo de gestión para laboratorios universitarios de ingeniería que articula tres pilares estratégicos. Este modelo busca responder a las necesidades específicas de la Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia, y a su vez plantea una estructura replicable en otros contextos académicos con vocación científica y tecnológica.

**Digitalización y Automatización:** Se plantea la implementación de plataformas digitales para la gestión centralizada de los laboratorios, permitiendo la reserva de equipos, el monitoreo en tiempo real, la trazabilidad de experimentos y la integración de datos para la toma de decisiones. El uso de tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT) y la computación en la nube posibilita un mantenimiento predictivo, una mayor eficiencia operativa y la estandarización de procesos críticos.

**Interconexión y Colaboración:** El modelo promueve la creación de una red de laboratorios interconectados a través de entornos digitales colaborativos. Esto facilitará el trabajo interdisciplinario, el desarrollo de proyectos conjuntos con el sector productivo y el acceso remoto a recursos a través de laboratorios virtuales y remotos, incrementando la flexibilidad y el aprovechamiento de las capacidades instaladas.

**Gestión Basada en Datos e Innovación Abierta:** Este pilar incorpora herramientas de inteligencia artificial y analítica avanzada para optimizar el uso de los laboratorios, identificar necesidades de

mejora y fortalecer la toma de decisiones estratégicas. Asimismo, se plantea un enfoque de innovación abierta que fomente la transferencia tecnológica, la interacción con redes de innovación y el surgimiento de nuevas iniciativas como startups tecnológicas desde el entorno académico.

La articulación de estos tres pilares permite visualizar a los laboratorios universitarios no solo como unidades operativas, sino como nodos de valor estratégico en el ecosistema de innovación en ingeniería, capaces de responder a los desafíos de la transformación digital, la calidad educativa y la pertinencia tecnológica.

## 5. Discusión

Los resultados del estudio permiten identificar contrastes relevantes entre los laboratorios de la Facultad de Minas y los de otras sedes universitarias y universidades externas, en dimensiones clave para la gestión y transformación de estos espacios. Esta comparación no solo visibiliza las particularidades del contexto ingenieril, sino que también justifica la necesidad de un modelo de gestión diferenciado, basado en la digitalización, la automatización y la vinculación con el ecosistema productivo.

En cuanto a la infraestructura y el equipamiento, aunque la mayoría de los laboratorios de la Facultad de Minas presentan condiciones aceptables, los niveles de variabilidad en la percepción evidencian desafíos estructurales aún no resueltos. A diferencia de otras sedes, donde las respuestas tienden a ser más homogéneas, en la Facultad se identifican opiniones más divididas, lo que sugiere la coexistencia de laboratorios con fortalezas importantes y otros con requerimientos urgentes de actualización tecnológica.

La dimensión de digitalización representa una de las brechas más críticas. La alta proporción de laboratorios que operan con herramientas básicas o realizan procesos de forma manual limita su eficiencia y capacidad de articulación. Esto contrasta con las expectativas actuales del entorno industrial y académico, donde se espera que los laboratorios de ingeniería funcionen como nodos digitalizados, interconectados y basados en datos. Esta situación no solo afecta los flujos de trabajo internos, sino que compromete la trazabilidad y el aseguramiento de resultados confiables, aspectos clave en los estándares de calidad como la ISO/IEC 17025.

Respecto a la automatización, la Facultad de Minas presenta una percepción favorable y generalizada sobre su impacto positivo. La alta coincidencia en identificar procesos críticos como candidatos a ser automatizados (inventarios, trazabilidad, informes, mantenimiento) refuerza la necesidad de un enfoque sistemático de mejora operativa. Esta dimensión, además, se vincula directamente con la posibilidad de reducir la carga administrativa sobre el personal académico y técnico, y de liberar capacidades para actividades de mayor valor agregado.

En el caso de la vinculación con la industria, si bien se identifican relaciones activas en la Facultad de Minas, estas no se traducen aún en una estrategia institucional de articulación ni en estructuras de gobernanza colaborativa. Las experiencias en otras universidades del país, especialmente en sectores como biotecnología y salud, demuestran que es posible consolidar redes universidad-

empresa funcionales si se cuenta con incentivos, procesos definidos y plataformas de seguimiento. La falta de estos elementos en la Facultad representa una oportunidad de intervención prioritaria.

Con base en estos hallazgos, el modelo de gestión propuesto se estructura en tres pilares interrelacionados:

**Digitalización y Automatización:** Consiste en la implementación de plataformas digitales que centralicen la gestión de los laboratorios, facilitando procesos como la reserva de equipos, el monitoreo en tiempo real y la toma de decisiones basadas en datos. La integración de tecnologías como IoT y computación en la nube permite optimizar el mantenimiento preventivo y garantizar la trazabilidad de los experimentos.

**Interconexión y Colaboración:** Este pilar impulsa la creación de una red de laboratorios interconectados, fomentando la colaboración interdisciplinaria y el desarrollo de proyectos conjuntos con la industria. La implementación de entornos virtuales y laboratorios remotos amplía las posibilidades de acceso a recursos y fortalece el aprendizaje práctico.

**Gestión Basada en Datos e Innovación Abierta:** Promueve el uso de herramientas de inteligencia artificial y análisis de datos para mejorar la planificación y la utilización de recursos. Además, se estimula la innovación abierta como vía para fortalecer la transferencia tecnológica, apoyar la creación de startups y dinamizar el ecosistema de innovación en ingeniería.

Así, la evidencia empírica sustenta con claridad la necesidad de implementar un modelo de gestión que responda a las realidades y potencialidades de los laboratorios de ingeniería. Este modelo debe superar la gestión fragmentada y operativa, para avanzar hacia una visión estratégica que integre procesos digitales, estructuras colaborativas e inteligencia institucional. Solo así será posible consolidar a los laboratorios como infraestructuras críticas dentro del ecosistema de innovación en ingeniería.

## **6. Conclusiones**

Los resultados de este estudio evidencian que los laboratorios universitarios de ingeniería, en particular los de la Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia, enfrentan importantes desafíos relacionados con la digitalización, la automatización de procesos y la vinculación con el sector productivo. Al mismo tiempo, estos espacios presentan un alto potencial para convertirse en nodos estratégicos dentro del ecosistema de innovación, siempre que cuenten con un modelo de gestión adecuado a su naturaleza técnica y vocación académica.

El modelo propuesto, basado en los pilares de digitalización y automatización, interconexión y colaboración, y gestión basada en datos e innovación abierta, responde a las demandas identificadas mediante el diagnóstico institucional, entrevistas y revisión de buenas prácticas internacionales. La implementación progresiva de este modelo permitiría mejorar la eficiencia operativa, fortalecer la articulación con actores del entorno y alinear los laboratorios con los estándares contemporáneos de calidad, pertinencia y sostenibilidad.

## 7. Referencias

- Adner, R. (2017). Ecosystem as structure: An actionable construct for strategy. *Journal of Management*, 43(1), 39–58. <https://doi.org/10.1177/0149206316678451>
- Carayannis, E. G., Barth, T. D., & Campbell, D. F. J. (2012). The Quintuple Helix innovation model: global warming as a challenge and driver for innovation. *Journal of Innovation and Entrepreneurship*, 1(2). <https://doi.org/10.1186/2192-5372-1-2>
- Etzkowitz, H., & Leydesdorff, L. (2000). The dynamics of innovation: from National Systems and "Mode 2" to a Triple Helix of university–industry–government relations. *Research Policy*, 29(2), 109–123. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(99\)00055-4](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(99)00055-4)
- Granstrand, O., & Holgersson, M. (2020). Innovation ecosystems: A conceptual review and a new definition. *Technovation*, 90–91, 102098. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2019.102098>
- Moore, J. F. (1993). Predators and prey: A new ecology of competition. *Harvard Business Review*, 71(3), 75–86.
- Talmar, M., Walrave, B., Podoynitsyna, K. S., Holmström, J., & Romme, A. G. L. (2020). Mapping, analyzing and designing innovation ecosystems: The Ecosystem Pie Model. *Long Range Planning*, 53(4), 101850. <https://doi.org/10.1016/j.lrp.2018.09.002>
- Rossiter, J. A. (2022). Virtual and remote laboratories in control engineering education: The state-of-the-art. *Annual Reviews in Control*, 53, 296–305. <https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2022.03.004>
- Smolennikov, N., et al. (2024). Living labs in higher education: a path to digital and sustainable campuses. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, (en prensa).
- Xie, C., & Jiaqi, G. (2019). Intelligent Laboratory Management System Based on Cloud Platform. *Journal of Physics: Conference Series*, 1187(5), 052068. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1187/5/052068>

---

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2025 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)