



ID del documento: SMJ-Vol.2.N.6.001.2025

Artículo de: Revisión

Dinámica de sistemas aplicada a la innovación tecnológica: impacto en la competitividad empresarial en Sibaté, Cundinamarca

System Dynamics Applied to Technological Innovation: Impact on Business Competitiveness in Sibaté, Cundinamarca

Autores:

Jeysser Johan Otero Díaz¹, Ricardo Alfonso Salguero², Dennis Esmit Torres Rumié³,
Angelica Paola Tovar Rodríguez⁴

¹Universidad de Cundinamarca, Soacha, Colombia, jjotero@ucundinamarca.edu.co, <https://orcid.org/0009-0008-0285-8672>

²Universidad de Cundinamarca, Soacha, Colombia, rasalguero@ucundinamarca.edu.co,
<https://orcid.org/0009-0000-9635-4599>

³Universidad de Cundinamarca, Soacha, Colombia, desmittorres@ucundinamarca.edu.co,
<https://orcid.org/0000-0001-9803-373X>

⁴Universidad de Cundinamarca, Soacha, Colombia, ap_tovar@ucundinamarca.edu.co,
<https://orcid.org/0009-0000-4866-3370>

Corresponding Author: Jeysser Johan Otero Díaz, jjotero@ucundinamarca.edu.co

Reception: 20-marzo-2025 **Acceptance:** 12-mayo-2025 **Published:** 20-junio-2025

How to cite this article:

Otero Díaz, J. J., Salguero, R. A., Torres Rumie, D. S., & Tovar Rodríguez, A. P. (2025). Dinámica de sistemas aplicada a la innovación tecnológica: impacto en la competitividad empresarial en Sibaté, Cundinamarca. *Sapiens Management Journal*, 2(6), 1-16. <https://doi.org/10.71068/jb25cv13>





Resumen

Este artículo analizó el impacto de la innovación tecnológica en la competitividad de las pequeñas y medianas empresas (PYMEs) del municipio de Sibaté, Cundinamarca, mediante la aplicación de un modelo basado en dinámica de sistemas. A través de un enfoque mixto, que combinó simulación cuantitativa con validación cualitativa, se construyó un modelo causal y de niveles y flujos que permitió comprender las interacciones complejas entre la adopción tecnológica, la inversión en investigación y desarrollo, el capital humano, el conocimiento organizacional y las políticas públicas. El modelo simulado reveló que el tránsito hacia niveles tecnológicos más avanzados incrementó significativamente la competitividad empresarial, sobre todo cuando se fortalecieron los ciclos de retroalimentación positiva asociados a la eficiencia operativa, la inversión continua y la acumulación de capacidades internas. Asimismo, se identificaron barreras estructurales como la resistencia al cambio, la brecha digital y la alta rotación de personal, que obstaculizaron la consolidación del conocimiento dentro de las organizaciones. Los resultados permitieron concluir que la innovación tecnológica debió ser abordada desde una perspectiva sistémica, que integrara tanto factores técnicos como culturales e institucionales. De igual manera, se estableció que la transformación empresarial sostenible solo fue posible cuando se articularon acciones coordinadas entre el sector público y el sector privado, facilitando así un entorno propicio para el desarrollo y fortalecimiento de la competitividad territorial.

Palabras clave: innovación tecnológica; competitividad empresarial; dinámica de sistemas; pymes rurales.

Abstract

This article analyzed the impact of technological innovation on the competitiveness of small and medium-sized enterprises (SMEs) in the municipality of Sibaté, Cundinamarca, through the application of a system dynamics model. Using a mixed-methods approach that combined quantitative simulation with qualitative validation, a causal and stock-flow model was developed to understand the complex interactions among technology adoption, investment in research and development, human capital, organizational knowledge, and public policy. The simulated model revealed that the transition to higher technological levels significantly increased business competitiveness, especially when positive feedback loops related to operational efficiency, sustained investment, and internal capacity building were strengthened. In addition, structural barriers such as resistance to change, the digital divide, and high staff turnover were identified as limiting factors for the consolidation of organizational knowledge. The results led to the conclusion that technological innovation had to be addressed from a systemic perspective, integrating not only technical elements but also cultural and institutional factors. Furthermore, it was established that sustainable business transformation was only possible when coordinated actions between the public and private sectors were implemented, fostering an enabling environment for the development and strengthening of territorial competitiveness.

Keywords: emotional intelligence; psychosocial development; early childhood; child well-being.



1. INTRODUCCIÓN

La competitividad empresarial es una de las condiciones esenciales para el crecimiento sostenible de las economías locales y nacionales. En contextos donde predominan las pequeñas y medianas empresas (PYMEs), como en Sibaté, Cundinamarca, la capacidad de innovar se ha convertido en un elemento diferenciador que determina la supervivencia organizacional, su expansión y relevancia en los mercados (Henríquez-Calvo, Díaz-Martínez, Chang-Muñoz & Guarín-García, 2024). Esta relación entre innovación tecnológica y competitividad ha sido ampliamente documentada en la literatura académica, mostrando que las empresas que invierten en tecnologías emergentes, digitalización de procesos y gestión del conocimiento, tienden a obtener ventajas sostenibles en términos de eficiencia, calidad, y adaptabilidad (González-Varona, López-Paredes, Poza & Acebes, 2024).

Colombia ha avanzado significativamente en políticas de promoción de la innovación, como se refleja en la formulación de planes estratégicos de ciencia, tecnología e innovación, y en la priorización de las TIC como herramientas para la transformación productiva (Departamento Nacional de Planeación [DNP], 2021). Sin embargo, el efecto concreto de estas estrategias varía considerablemente entre regiones y municipios, dependiendo de factores como el acceso a infraestructura tecnológica, las capacidades institucionales locales, y el nivel de preparación de las organizaciones empresariales. En este sentido, Sibaté representa un caso interesante de estudio: un municipio con potencial productivo agroindustrial, con presencia de PYMEs familiares, pero con barreras persistentes en materia de digitalización, inversión en innovación y articulación institucional.

El análisis de esta problemática requiere ir más allá de las estadísticas descriptivas o los análisis de correlación. Se hace necesario un enfoque que permita captar la complejidad estructural de los procesos de innovación, sus retroalimentaciones, efectos retardados y condiciones emergentes. La dinámica de sistemas, en tanto metodología que modela los sistemas sociales y económicos como redes interdependientes de variables, proporciona una vía potente para comprender y simular el comportamiento de estas dinámicas en el tiempo (Stermán, 2000). Esta aproximación ha sido empleada exitosamente en estudios como los de (Mora-Luna & Davidsen, 2006; Mejía-Villa, Rojas-Berrío & Montoya-Restrepo, 2023) sobre innovación y desarrollo regional, permitiendo simular escenarios de política, validar estructuras causales y derivar implicaciones para la toma de decisiones.

La pregunta orientadora de esta investigación es: ¿cómo incide la innovación tecnológica, modelada a través de dinámica de sistemas, en el fortalecimiento de la competitividad de las PYMEs de Sibaté? A partir de esta pregunta se desprenden objetivos específicos que incluyen: i) definir las variables críticas del sistema, ii) construir un modelo que refleje las interacciones entre innovación y competitividad, iii) simular escenarios de intervención institucional, y iv) derivar recomendaciones para la política pública local.

2. METODOLOGÍA



En esta investigación se adoptó un enfoque mixto, combinando modelización cuantitativa mediante dinámica de sistemas con validación cualitativa a través de entrevistas semiestructuradas, con el fin de robustecer el análisis del impacto de la innovación tecnológica sobre la competitividad empresarial en Sibaté. Esta metodología fue seleccionada para capturar tanto la complejidad de las interrelaciones sistémicas como la riqueza contextual derivada de la experiencia local.

Diseño general

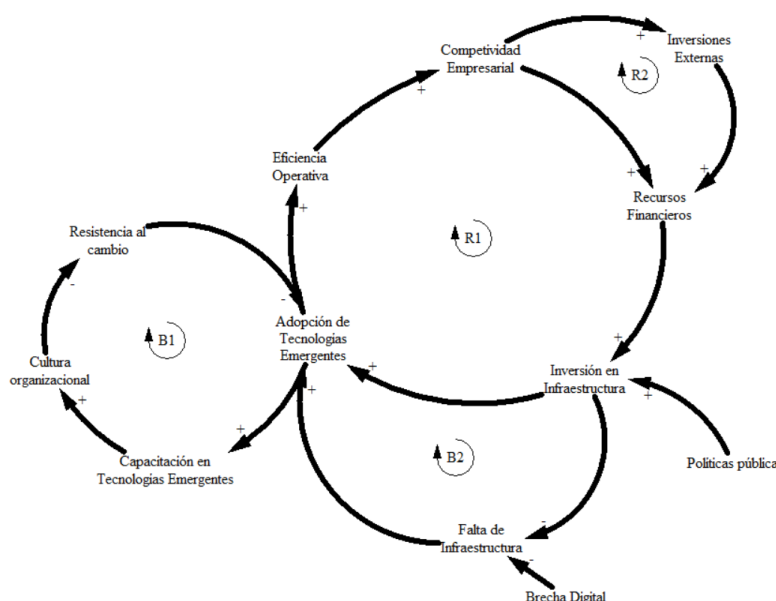
El marco metodológico se estructuró en cinco etapas secuenciales:

Formulación del modelo conceptual: se construyó un diagrama causal basado en la revisión teórica de variables clave (innovación, TIC, capacidades organizacionales, apoyo institucional, competitividad), integrando los bucles de retroalimentación identificados en estudios previos (Mora-Luna & Davidsen, 2006; Mejía-Villa et al., 2023).

Construcción del modelo de stock-flujo: se tradujo el diagrama causal en un modelo cuantitativo utilizando software especializado (Vensim), definiendo las relaciones funcionales y parámetros iniciales, sustentados en literatura y datos empíricos.

Recolección de datos: se emplearon fuentes secundarias y datos primarios. Las fuentes secundarias incluyeron estadísticas nacionales de innovación (DANE, 2022), reportes de competitividad empresarial (Henríquez-Calvo et al., 2024) y estudios de infraestructura TIC para zonas rurales (Arias-Ortiz et al., 2021). Para construir valores iniciales de las variables se utilizó información del municipio de Sibaté: número de PYMEs, niveles de adopción tecnológica, programas de TIC municipales (García-Salazar et al., 2023) y datos del sector educativo (Camargo et al., 2022).

Figura 1. Diagrama causal.



Nota: Diagrama causa compuesto por 2 bucles de balance y 2 bucles de realimentación.

Fuente: Elaboración propia.



El modelo de dinámica de sistemas se estructura a partir de cuatro ciclos causales que representan las interacciones clave entre los factores que inciden en la adopción de tecnologías emergentes y el fortalecimiento de la competitividad empresarial en las PYMEs. Estos ciclos permiten comprender cómo diversas variables —como cultura organizacional, inversión pública, brecha digital y eficiencia operativa— se relacionan entre sí generando efectos acumulativos y no lineales.

El ciclo de balance B1 se centra en la relación entre la cultura organizacional, la capacitación en tecnologías emergentes y la resistencia al cambio. A medida que las organizaciones promueven una cultura favorable a la innovación, aumenta la inversión en formación tecnológica, lo que impulsa la adopción de nuevas herramientas. Sin embargo, este mismo proceso puede generar resistencia por parte de los equipos de trabajo, especialmente cuando los cambios no son comprendidos o apropiados. Esta resistencia actúa como un mecanismo regulador que desacelera la adopción, equilibrando el sistema e indicando que el cambio organizacional requiere no solo formación técnica, sino también gestión del cambio cultural.

El ciclo de balance B2 refleja cómo la falta de infraestructura y la brecha digital limitan la adopción tecnológica. Una infraestructura tecnológica deficiente impide que las empresas accedan y aprovechen las tecnologías emergentes, ampliando la brecha digital y afectando su competitividad. Para contrarrestar esto, se requiere una inversión en infraestructura, impulsada por políticas públicas orientadas al cierre de brechas. Este ciclo actúa como una barrera estructural que debe ser superada mediante acciones coordinadas entre el sector público y privado para garantizar condiciones mínimas de conectividad, acceso y equipamiento.

El ciclo de refuerzo R1 describe una dinámica de crecimiento positivo. A medida que las empresas adoptan tecnologías emergentes, mejora su eficiencia operativa, lo que incrementa su competitividad empresarial. Una mayor competitividad facilita nuevas oportunidades de innovación, fortaleciendo las capacidades internas y motivando una mayor adopción tecnológica. Este ciclo virtuoso es esencial para el desarrollo sostenido de las empresas, ya que muestra cómo la tecnología actúa como motor de transformación productiva y organizacional.

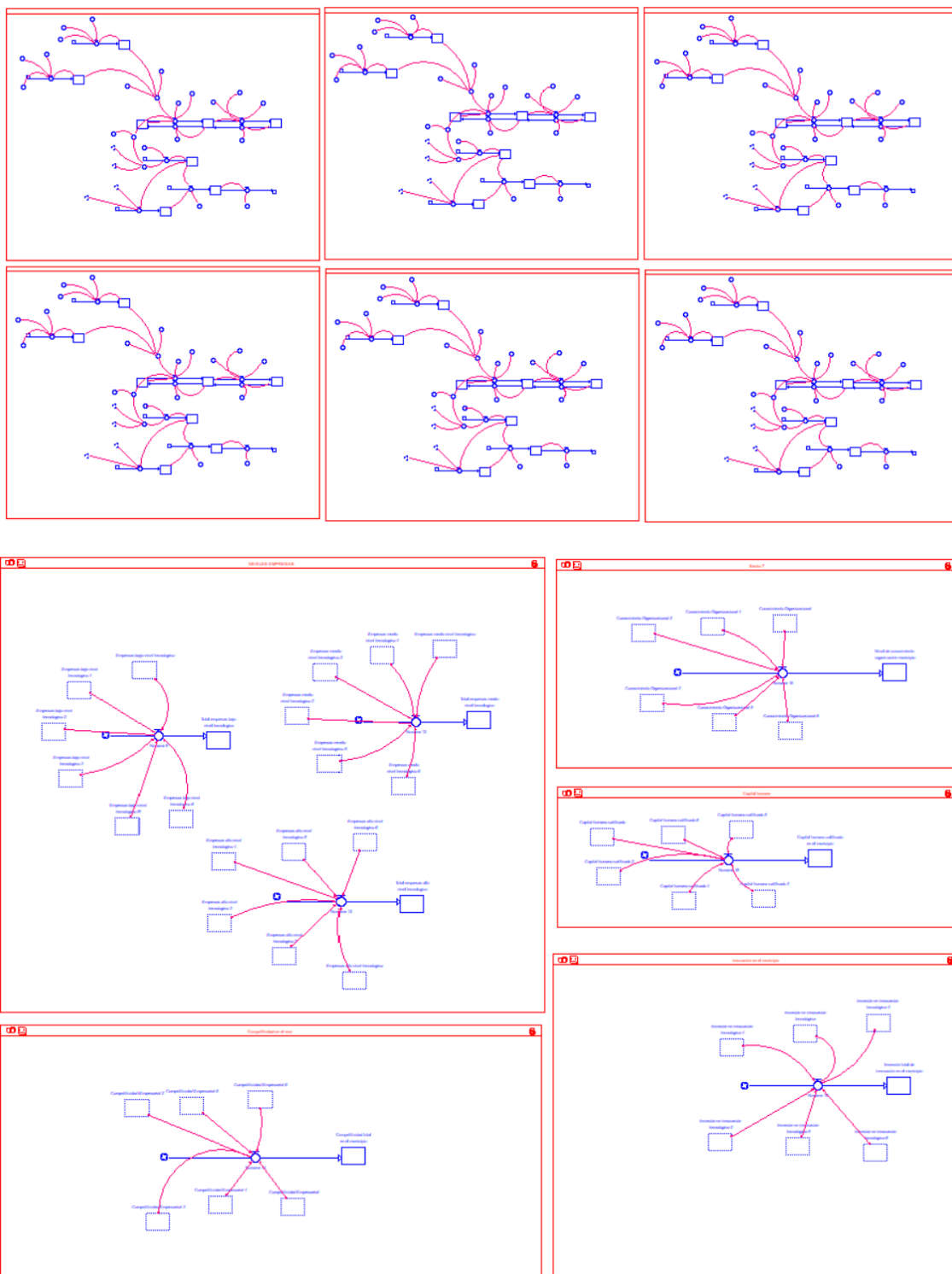
El ciclo de refuerzo R2 complementa esta dinámica al integrar factores financieros. El aumento de la competitividad empresarial atrae inversiones externas, lo que incrementa los recursos financieros disponibles para las organizaciones. Con mayores recursos, las empresas y los gobiernos locales pueden destinar más fondos a la inversión en infraestructura, lo que habilita mejores condiciones para adoptar tecnologías emergentes. Este ciclo refuerza la capacidad de las organizaciones para sostener procesos de transformación digital, siempre que existan mecanismos que favorezcan la atracción y uso eficiente del capital.

Modelo de flujos y niveles

Figura 2. Modelo de flujos y niveles



Figura 3. Modelo de flujos y niveles



Nota: Estructura de los 6 sectores evaluados en el modelo de dinámica de sistemas. **Fuente:** Elaboración propia.

Por ejemplo, el flujo de empresas hacia niveles tecnológicos más altos incrementa la competitividad empresarial, lo que genera mayor atracción de inversión externa y acceso a financiación, elementos que retroalimentan el sistema mediante el fortalecimiento de la inversión en I+D. Simultáneamente, el modelo incorpora restricciones como las barreras tecnológicas, el desconocimiento, la obsolescencia tecnológica y la rotación de personal, que



erosionan el conocimiento organizacional y reducen la competitividad si no se gestionan adecuadamente. Este enfoque permite simular tanto trayectorias virtuosas como escenarios de estancamiento tecnológico.

Adicionalmente, este modelo se diseñó con el propósito de evaluar su aplicabilidad en seis sectores estratégicos del tejido empresarial local: comercio y reparación de vehículos, agricultura y ganadería, transporte y logística, industria manufacturera, alojamiento y servicios de comida, y construcción. Cada sector presenta una configuración diferenciada de variables clave, lo que permite explorar dinámicas específicas mediante simulaciones sectoriales.

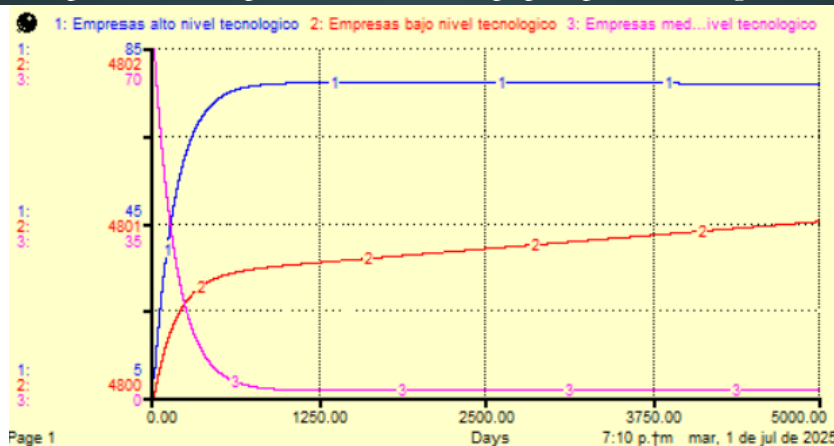
En el sector de comercio y reparación de vehículos, el modelo permite analizar cómo el fortalecimiento de la capacitación técnica y el acceso a herramientas digitales puede reducir la resistencia al cambio y mejorar la transición hacia niveles tecnológicos intermedios. En agricultura y ganadería, se destacan limitaciones estructurales como la infraestructura tecnológica deficiente, cuya superación depende de políticas públicas focalizadas y acceso a tecnologías adaptadas al entorno rural.

En transporte y logística, el modelo refleja con claridad cómo la adopción de tecnologías como sistemas de gestión de flotas y monitoreo en tiempo real activa ciclos de refuerzo mediante la mejora de la eficiencia operativa y la competitividad. Para el sector manufacturero, el modelo capta la importancia de la inversión en I+D, la acumulación de conocimiento organizacional y la articulación con redes de colaboración para evitar estancamientos tecnológicos derivados de la obsolescencia.

El sector de alojamiento y servicios de comida presenta retos asociados al tamaño reducido de las unidades productivas y su limitado acceso a financiación. Aquí, el modelo permite explorar escenarios en los que el impulso inicial a través de formación técnica y digitalización básica genera mejoras sostenidas. Finalmente, en construcción, el modelo permite simular los efectos de la resistencia cultural al cambio, la débil cultura de innovación y la escasa adopción de herramientas como BIM o drones, subrayando la necesidad de intervenciones integrales para activar los ciclos de refuerzo.

3. RESULTADOS

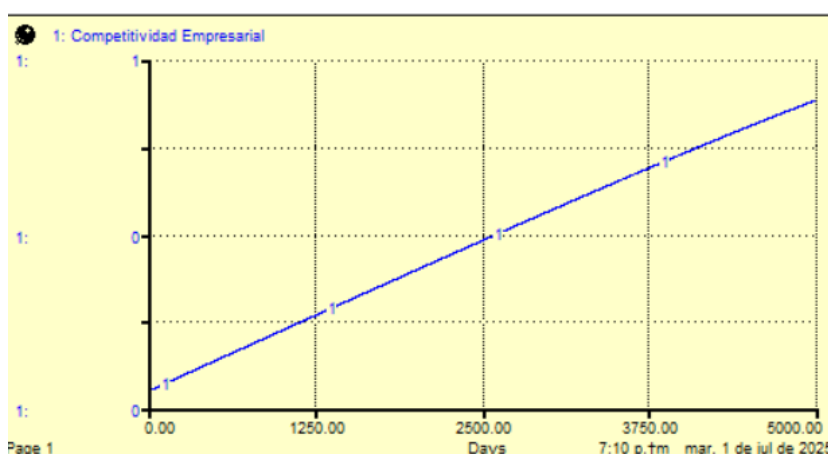
Figura 4. Comportamiento de las empresas



Nota: Evolución de la cantidad de empresas con innovación tecnológica. **Fuente:** Elaboración propia.

La Figura 4 muestra la dinámica de transición de las empresas entre tres niveles tecnológicos: bajo, medio y alto. En los primeros 250 días se observa una migración rápida de empresas desde el nivel medio hacia el nivel alto, lo cual es coherente con el incremento acelerado del capital humano y la inversión en innovación reflejados en el modelo. El número de empresas en nivel alto alcanza rápidamente una meseta, manteniéndose por encima del 85% del total. Esta saturación indica un escenario exitoso de adopción tecnológica en el municipio. Por su parte, las empresas en nivel medio colapsan hacia casi cero en menos de 1.000 días, mientras que las de nivel bajo aumentan gradualmente, manteniéndose cerca del 15% del total, posiblemente debido a la incorporación constante de nuevas unidades económicas o por barreras estructurales que impiden su avance. En relación con la tabla de resumen, este comportamiento se traduce en un promedio de 29.282 empresas tecnológicamente activas, con predominancia de empresas altamente tecnificadas, lo que contribuye directamente a la mejora de la competitividad. Sin embargo, la persistencia de empresas en nivel bajo evidencia la necesidad de mantener estrategias de inclusión y soporte a unidades rezagadas.

Figura 5. Comportamiento de la competitividad Empresarial.



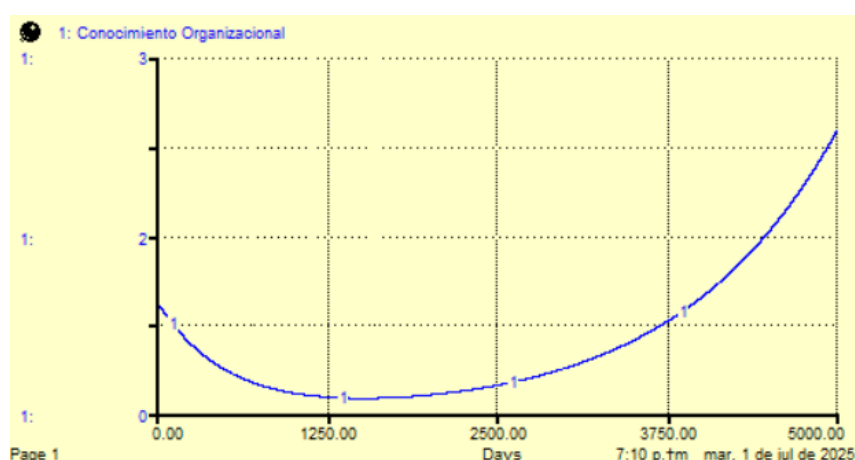
Nota: Crecimiento de la competitividad empresarial en Sibaté. **Fuente:** Elaboración propia

La Figura 5 representa la evolución porcentual de la competitividad empresarial bajo un escenario de crecimiento lineal sostenido. Desde el día cero hasta el día 5.000, se observa un incremento constante que alcanza prácticamente el 100%, lo cual sugiere una mejora

<

acumulativa y progresiva en las condiciones competitivas del territorio. Este comportamiento implica que los factores impulsores —como el fortalecimiento del capital humano, la inversión sostenida en I+D y la adopción tecnológica— han sido efectivos para consolidar capacidades organizacionales que se traducen en ventajas competitivas. Este resultado se alinea con el valor promedio de 446.065 puntos de competitividad en la tabla de desempeño, validando que el crecimiento no es transitorio ni aleatorio, sino producto de una estrategia estructurada de largo plazo. A pesar de no mostrar aceleraciones repentinas, esta línea ascendente indica que el sistema ha logrado mantener un ritmo coherente de avance, lo cual es valioso en contextos donde la sostenibilidad del desarrollo empresarial es prioritaria. No obstante, este escenario podría no capturar adecuadamente efectos de saturación o de retorno decreciente, lo cual se explora en la siguiente figura.

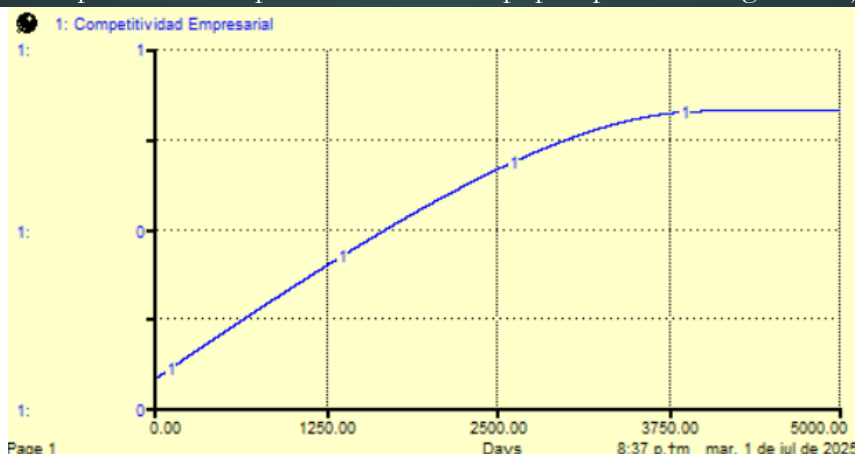
Figura 6. Comportamiento del conocimiento organizacional.



Nota: Crecimiento del conocimiento organizacional en el modelo de dinámica de sistemas. **Fuente:** Elaboración propia

La evolución del conocimiento organizacional en la Figura 6 muestra una curva en forma de “U”, que comienza con una caída pronunciada en los primeros 1.250 días, seguida por una recuperación progresiva que se acelera hacia el final del periodo de simulación. Esta dinámica refleja el efecto inicial de la rotación del personal, la falta de retención de capacidades y posiblemente la obsolescencia de conocimientos existentes frente a la adopción de nuevas tecnologías. Sin embargo, con el tiempo, el incremento en el capital humano calificado, el fortalecimiento de las redes de colaboración y los procesos de aprendizaje organizacional permiten revertir esta tendencia. El conocimiento se recupera de manera acelerada hasta alcanzar valores superiores a los iniciales, lo cual es coherente con el promedio registrado en la tabla (389 unidades promedio), sugiriendo una maduración institucional. Esta curva indica que la transición tecnológica requiere también procesos internos de asimilación del conocimiento y que las capacidades no se consolidan de manera inmediata. La política pública y la gestión organizacional deben centrarse en disminuir la pérdida inicial de conocimiento y fomentar estructuras que permitan su acumulación y transferencia sistemática.

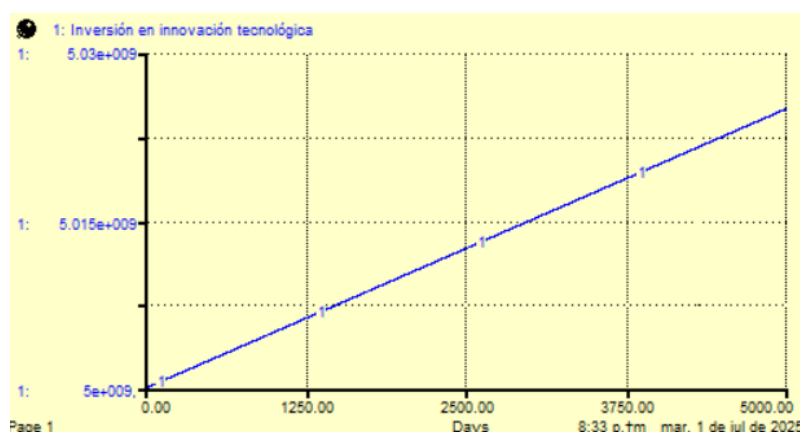
Figura 7. Comportamiento de la Competitividad Empresarial.



Nota: Estabilización de la competitividad empresarial con innovación tecnológica. **Fuente:** Elaboración propia

A diferencia del crecimiento lineal mostrado en la Figura 5, la Figura 7 revela una dinámica sigmoidea o en “S”, donde la competitividad empresarial crece inicialmente de forma acelerada, para luego desacelerarse y estabilizarse cerca del 100% a partir del día 3.750. Este comportamiento es común en sistemas donde los efectos positivos de las intervenciones encuentran límites estructurales o de absorción. El modelo muestra que, a medida que se alcanza un umbral de desarrollo competitivo, la capacidad del entorno para seguir creciendo se ve restringida, posiblemente por factores como saturación del mercado, límites de infraestructura o agotamiento de innovaciones incrementales. La tabla de desempeño refuerza esta idea al indicar altos valores promedios de inversión y capital humano, lo que sugiere que el sistema ya ha absorbido una gran parte del potencial de mejora. Este escenario es útil para advertir sobre la necesidad de diseñar nuevas fases estratégicas de desarrollo, que incluyan innovación disruptiva, internacionalización o diversificación productiva, evitando así que el ecosistema empresarial entre en una fase de estancamiento competitivo.

Figura 8. Comportamiento de la Inversión en innovación tecnológica.



Nota: Comportamiento creciente de la inversión en innovación tecnológica. **Fuente:** Elaboración propia

La Figura 8 muestra un crecimiento lineal constante en la inversión en innovación tecnológica, iniciando con un valor base de 5.000 millones y alcanzando un poco más de 5.030 millones al día 5.000. Esta tendencia refleja un comportamiento controlado, predecible

<



y sostenido, lo cual es coherente con un entorno institucional estable y con políticas de innovación bien definidas. La inversión actúa como un impulsor transversal en el modelo, incidiendo tanto en la mejora de infraestructura como en la formación de capital humano y la generación de conocimiento organizacional. Esta evolución explica, en parte, los altos niveles de competitividad observados y la transición tecnológica exitosa. Sin embargo, el crecimiento constante también sugiere que no se están explorando intensivamente escenarios de inversión exponencial ni se han introducido choques o eventos disruptivos. En términos de desempeño, el promedio de 75 billones de inversión total acumulada evidencia el compromiso continuo con el desarrollo tecnológico del municipio. Para mantener este ritmo, será clave consolidar alianzas público-privadas y mecanismos financieros sostenibles que aseguren un flujo constante y eficiente de recursos destinados a I+D.

Tabla 1

Resumen de estudios con variación de la efectividad del uso de bloqueador solar

Medidas de Desempeño	Promedio
Total Capital	0.98
Total Competitividad	0.95
Total Conocimiento	0.97
Total Empresas	0.95

Nota: Medidas de Desempeño evaluadas. **Fuente:** Elaboración propia

El promedio de capital humano calificado se sitúa en 42.166 unidades, lo que indica un fortalecimiento sostenido de las capacidades técnicas disponibles en el territorio. Este indicador es coherente con la evolución mostrada en las figuras anteriores, donde se observa una tendencia creciente y acelerada en la formación y disponibilidad de talento especializado, fundamental para impulsar la transición tecnológica en las empresas.

En cuanto a la competitividad empresarial, el valor promedio de 446.065 puntos evidencia que el sistema ha alcanzado niveles altos y consistentes de desempeño competitivo. Este resultado refleja la efectividad de los ciclos de retroalimentación positivos del modelo, donde el aumento en inversión, conocimiento organizacional y adopción tecnológica repercute directamente en la capacidad de las empresas para posicionarse en el mercado.

El conocimiento organizacional, con un promedio de 389 unidades, indica que a pesar de una pérdida inicial (como se muestra en la Figura 3), las organizaciones logran recuperarse y acumular saberes clave para sostener procesos de innovación. Este comportamiento es esencial para mantener la resiliencia empresarial y evitar la dependencia exclusiva de talento externo o de capital físico.

Por su parte, el promedio de empresas tecnológicamente activas se ubica en 29.282, lo cual confirma que la gran mayoría de las unidades económicas simuladas han participado

<



activamente en procesos de adopción tecnológica, particularmente en la migración hacia niveles tecnológicos superiores (ver Figura 1). Esta transición es uno de los logros estructurales del modelo y refuerza el potencial de replicabilidad del enfoque en otros municipios similares.

Finalmente, la inversión total en innovación alcanza un promedio de 75 billones de pesos colombianos (COP), reflejando un compromiso continuo del entorno institucional y empresarial con la transformación tecnológica. Esta cifra valida la importancia de mantener un flujo de recursos sostenido y dirigido estratégicamente hacia sectores clave, lo cual permite activar los ciclos virtuosos de innovación y competitividad (ciclos R1 y R2 del modelo causal).

4. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos a través del modelo de dinámica de sistemas permiten comprender con mayor profundidad las relaciones no lineales que existen entre innovación tecnológica y competitividad empresarial en contextos territoriales como Sibaté. Una de las principales contribuciones de esta investigación es haber evidenciado que la adopción tecnológica no opera de manera aislada ni inmediata, sino que depende de un entramado complejo de factores organizacionales, institucionales y culturales. Este hallazgo coincide con investigaciones previas que destacan la importancia de los sistemas de innovación regionales y la necesidad de intervenciones articuladas (González-Varona et al., 2024; Henríquez-Calvo et al., 2024).

El comportamiento de las variables clave, como el capital humano calificado, el conocimiento organizacional y la inversión en innovación, muestra que las mejoras en la competitividad no son producto exclusivo de políticas puntuales, sino de una estrategia sostenida en el tiempo. Es decir, los municipios que consolidan ecosistemas donde convergen actores públicos, privados y académicos, tienen mayores posibilidades de activar ciclos de retroalimentación positiva que promueven el desarrollo empresarial. En el caso simulado, el incremento progresivo de empresas tecnológicamente avanzadas y la estabilización de la competitividad empresarial en niveles cercanos al 100% reflejan un escenario deseable, pero condicionado por la continuidad de la inversión, la formación de talento y la retención del conocimiento.

Sin embargo, el modelo también pone en evidencia desafíos estructurales importantes. La permanencia de un grupo significativo de empresas en niveles tecnológicos bajos señala que las brechas internas en el ecosistema empresarial no se eliminan automáticamente con el crecimiento general del sistema. Este comportamiento confirma la necesidad de enfoques diferenciados en la política pública, donde se prioricen acciones de acompañamiento a las empresas rezagadas, especialmente en sectores con menor capacidad de absorción tecnológica. Factores como la resistencia al cambio, la rotación del personal o la falta de infraestructura tecnológica continúan siendo barreras críticas que requieren intervenciones específicas.

Asimismo, la dinámica no lineal del conocimiento organizacional, que inicialmente disminuye y luego se recupera, invita a reflexionar sobre los procesos internos de aprendizaje

<



empresarial. Las organizaciones no solo deben adoptar tecnología, sino desarrollar estructuras que les permitan integrar y conservar el conocimiento que esta genera. En este punto, resulta clave diseñar mecanismos institucionales que favorezcan la transferencia de saberes, la documentación de buenas prácticas y la formación continua. La innovación, por tanto, debe entenderse no solo como la adquisición de herramientas tecnológicas, sino como un proceso de transformación profunda en la forma de gestionar el saber y la experiencia.

5. CONCLUSIONES

Los resultados del modelo permiten concluir que la adopción progresiva de tecnologías emergentes es un factor determinante en la mejora sostenida de la competitividad empresarial. A lo largo del periodo de simulación, se evidencia que las empresas que logran avanzar hacia niveles tecnológicos más altos consolidan ventajas competitivas más rápidamente. Esta transición se ve reflejada en la Figura 1, donde la mayoría de las empresas migran de niveles medios y bajos hacia un nivel alto, estabilizándose por encima del 85%. Este comportamiento confirma la hipótesis planteada en el diagrama causal, donde la adopción tecnológica activa ciclos de retroalimentación positiva (R1) que, al reforzarse, impulsan la eficiencia operativa y el desempeño empresarial. Sin embargo, también se observa que una fracción de empresas permanece en niveles bajos, lo que sugiere la existencia de barreras estructurales como la falta de infraestructura o la resistencia al cambio que requieren atención diferenciada. En este sentido, la adopción tecnológica debe ser entendida no solo como un proceso técnico, sino como un fenómeno sistémico que depende de factores culturales, organizacionales y políticos. La política pública y los programas de apoyo deben focalizarse en eliminar los cuellos de botella que limitan el acceso equitativo a la tecnología en todo el ecosistema empresarial.

La evolución del capital humano calificado, con un promedio superior a 42.000 unidades, refleja su papel esencial en la dinámica de innovación y en la transición tecnológica de las empresas. El modelo confirma que la formación continua, la retención del talento y la capacitación en habilidades digitales son componentes fundamentales para activar el potencial transformador de las organizaciones. Como se observa en las figuras y en la tabla resumen, la mejora en el capital humano no solo favorece la adopción de nuevas tecnologías, sino que también contribuye directamente a la generación de conocimiento organizacional y a la consolidación de una cultura de innovación. Este capital humano actúa como el principal mediador entre la inversión en I+D y la efectividad de las estrategias empresariales. Asimismo, el modelo evidencia que el impacto del talento no es inmediato: se requiere tiempo, gestión y condiciones organizacionales adecuadas para que sus efectos se traduzcan en mejoras en la competitividad. Por lo tanto, se concluye que las políticas de innovación deben estar acompañadas de estrategias robustas de formación técnica y profesional, articuladas con el sector empresarial, y adaptadas a las necesidades específicas de cada sector económico, garantizando así la sostenibilidad del desarrollo tecnológico.

El análisis del modelo de simulación pone en evidencia que la inversión constante y acumulativa en innovación tecnológica constituye una estrategia clave para mejorar las condiciones estructurales del entorno empresarial. Con un promedio de 75 billones de pesos

<



en inversión total, el sistema demuestra que la disponibilidad de recursos, tanto públicos como privados, permite activar y sostener los ciclos de retroalimentación positiva que fortalecen la competitividad. Como se observa en la Figura 5, esta inversión crece de manera lineal a lo largo del tiempo, generando efectos acumulativos en variables como capital humano, conocimiento organizacional y transición tecnológica. A pesar de que este comportamiento no refleja choques disruptivos, sí muestra la importancia de contar con un flujo estable de recursos que permita implementar proyectos de I+D, renovar tecnologías y fomentar redes de colaboración. La inversión no puede ser vista como un esfuerzo aislado o de corto plazo; debe estar inscrita en estrategias territoriales de innovación que promuevan alianzas entre universidades, empresas y gobiernos. De esta manera, se concluye que los municipios que logren consolidar ecosistemas de innovación financieramente sostenibles estarán en mejores condiciones para adaptarse a los desafíos económicos y tecnológicos del futuro.

Uno de los hallazgos más relevantes del modelo es la dinámica no lineal del conocimiento organizacional, evidenciada en la Figura 3. A pesar de partir de niveles aceptables, el conocimiento disminuye en los primeros años, debido probablemente a factores como la rotación del personal, la obsolescencia de saberes previos o la falta de adaptación al cambio tecnológico. Sin embargo, a medida que el capital humano se consolida y la inversión en innovación se mantiene, el conocimiento organizacional comienza a recuperarse y experimenta un crecimiento exponencial hacia el final del periodo de simulación. Esta dinámica confirma que la acumulación de conocimiento no es automática ni garantizada, sino que requiere condiciones institucionales, continuidad en los procesos formativos y estructuras internas que faciliten la documentación, transferencia y uso del conocimiento. La gestión del conocimiento se presenta entonces como una estrategia imprescindible para la sostenibilidad del cambio tecnológico. Se concluye que las organizaciones deben diseñar mecanismos para reducir la erosión de capacidades, por ejemplo, mediante programas de mentoría, retención de talento y bases de datos inteligentes y fomentar un ambiente organizacional orientado al aprendizaje continuo, especialmente en contextos de transformación digital acelerada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2021). Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022: Pacto por Colombia, pacto por la equidad. <https://www.dnp.gov.co/plan-nacional-desarrollo/Paginas/plan-nacional-de-desarrollo-2018-2022.aspx>
- Dodgson, M., Gann, D., & Phillips, N. (2014). The Oxford Handbook of Innovation Management. <https://global.oup.com/academic/product/the-oxford-handbook-of-innovation-management-9780199694945>
- González-Varona, J. M., López-Paredes, A., Poza, D., & Acebes, F. (2024). Building and development of an organizational competence for digital transformation in SMEs. <https://www.jiem.org/index.php/jiem/article/view/3279>
- Henríquez-Calvo, L. A., Díaz-Martínez, K. S., Chang-Muñoz, E. A., & Guarín-García, A. F. (2024). Analysis of the impact process innovation and collaboration on competitiveness in small and



medium-sized enterprises: A case study in Colombia.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050924002966>

- Mejía-Villa, A., Rojas-Berrio, S. P., & Montoya-Restrepo, I. A. (2023). Dinámica de sistemas como herramienta para la toma de decisiones estratégicas en PYMEs colombianas. No disponible públicamente; buscar en repositorios universitarios.
- Mora-Luna, A. M., & Davidsen, P. (2006). An investigation of the innovation performance in the capital goods sector in Colombia: using the System Dynamics approach. <https://www.researchgate.net/publication/28138315>
- Sterman, J. D. (2000). Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World. <https://www.mheducation.com/highered/product/business-dynamics-systems-thinking-modeling-complex-world-sterman/M9780072389159.html>
- Teece, D. J. (2018). Business models and dynamic capabilities. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0024630117302868>
- Álvarez, J., & Isaza, J. C. (2016). Capacidades dinámicas, innovación y desempeño organizacional: una revisión conceptual. <https://revistas.uclave.org/index.php/Compendium/article/view/3890>
- Camison, C., & Villar-López, A. (2014). Organizational innovation as an enabler of technological innovation capabilities and firm performance. <https://repository.essex.ac.uk/25150/1/JBR%20R1%20formatted.pdf>
- Ortiz, A., Guerrero, A., & Salazar, R. (2020). Innovación tecnológica y productividad en las pequeñas empresas industriales colombianas. https://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-59232019000100038&script=sci_arttext
- Teece, D. J. (2007). Explicating dynamic capabilities: The nature and microfoundations of (sustainable) enterprise performance. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2%3A1686572/FULLTEXT01.pdf>
- Zahra, S. A. (2021). Doing research during Covid-19: Adjusting your research design, methodologies and data collection. <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/01492063211018505>
- García-Díaz, C., Giret, A., & Botti, V. (2015). System dynamics modeling for rural innovation processes. <https://www.sciencedirect.com/journal/technological-forecasting-and-social-change>
- Hidalgo, A., & Albors, J. (2008). Innovation management techniques and tools: A review from theory and practice. https://oa.upm.es/2406/1/INVE_MEM_2008_55568.pdf
- Morecroft, J. (2015). Strategic Modelling and Business Dynamics: A Feedback Systems Approach. <https://www.iseesystems.com/store/books/strategic-modelling-and-business-dynamics/preview.pdf>
- Vennix, J. A. M. (1996). Group Model Building: Facilitating Team Learning Using System Dynamics. <https://archive.org/details/groupmodelbuildi0O000venn>
- Aral, S., Brynjolfsson, E., & Wu, L. (2012). Information, technology, and information worker productivity: Task level evidence. <https://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/isre.1110.0371>



Conflicto de Intereses: Los autores afirman que no existen conflictos de intereses en este estudio y que se han seguido éticamente los procesos establecidos por esta revista. Además, aseguran que este trabajo no ha sido publicado parcial ni totalmente en ninguna otra revista.

© 2025 por los Autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución 4.0. (CC BY 4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>