

<https://doi.org/10.69639/arandu.v13i3.2520>

Ecosistema emprendedor y comportamiento emprendedor en estudiantes universitarios: simulación mediante un modelo basado en agentes con inteligencia artificial

Entrepreneurial ecosystem and entrepreneurial behavior in university students: simulation using an agent-based model with artificial intelligence

Gaby Vargas Vargas

<https://orcid.org/0000-0002-4383-3200>

gvargasv@unmsm.edu.pe

Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Perú -Lima

Juan Victoriano Castillo Maza

<https://orcid.org/0000-0002-6576-9203>

jcastillom@unmsm.edu.pe

Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Perú -Lima

José Ernesto Ventocilla Maestre

<https://orcid.org/0000-0001-7598-5308>

jose.ventocilla@unmsm.edu.pe

Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Perú -Lima

Artículo recibido: 10 julio 2026- Aceptado para publicación: 16 agosto 2026
Conflictos de intereses: Ninguno que declarar.

RESUMEN

El emprendimiento universitario constituye una trayectoria dinámica en la que interactúan capacidades psicológicas, condiciones empresariales y mecanismos del ecosistema universitario. El objetivo del estudio fue desarrollar y evaluar un modelo computacional basado en agentes para simular el comportamiento emprendedor de estudiantes universitarios y examinar cómo distintas configuraciones del ecosistema modifican las trayectorias desde la formación hasta el crecimiento, la consolidación, el fracaso y el reintento. El modelo fue implementado en NetLogo 6.4.0 con una población inicial de 60 agentes y nueve estados secuenciales o contingentes. Se incorporaron intención, autoeficacia, actitud, motivación empresarial, conocimiento, motivación de logro, obstáculos, riesgo, desempeño y liquidez, junto con cinco componentes institucionales: apoyo universitario, investigación, incubación, transferencia y vinculación. Se configuraron cinco escenarios: base, universidad fuerte, incubación intensiva, ecosistema integral y crisis/barreras altas. Las corridas diagnósticas observadas muestran que los escenarios de mayor apoyo institucional favorecen trayectorias hacia crecimiento y consolidación, mientras que el escenario de crisis incrementa la permanencia en estados de fracaso y reintento y reduce la presencia de empresas activas. En la calibración temporal del escenario base, la consolidación aumentó de

68.33 % en el tick 112 a 75.00 % en el tick 212 y se mantuvo en ese nivel hasta el tick 509, mientras el riesgo promedio descendió de .155 a .078. Los resultados respaldan la utilidad del enfoque basado en agentes para representar mecanismos no lineales, heterogeneidad y dependencia temporal. El modelo constituye una plataforma experimental reproducible; la estimación inferencial definitiva entre escenarios requiere completar y analizar las 500 réplicas configuradas en BehaviorSpace.

Palabras clave: ecosistema emprendedor, comportamiento emprendedor, estudiantes universitarios, simulación basada en agentes, inteligencia artificial

ABSTRACT

University entrepreneurship constitutes a dynamic trajectory in which psychological capabilities, business conditions, and university ecosystem mechanisms interact. The objective was to develop and evaluate an agent-based computational model to simulate entrepreneurial behavior among university students and examine how ecosystem configurations modify trajectories from training to growth, consolidation, failure, and retry. The model was implemented in NetLogo 6.4.0 with an initial population of 60 agents and nine sequential or contingent states. It incorporated intention, self-efficacy, attitude, entrepreneurial motivation, knowledge, achievement motivation, obstacles, risk, performance, and liquidity, together with five institutional components: university support, research, incubation, transfer, and linkage. Five scenarios were configured: baseline, strong university, intensive incubation, integrated ecosystem, and crisis/high barriers. Diagnostic runs indicate that stronger institutional support favors trajectories toward growth and consolidation, whereas crisis increases persistence in failure and retry. In baseline temporal calibration, consolidation increased from 68.33% at tick 112 to 75.00% at tick 212 and remained stable through tick 509, while average risk decreased from .155 to .078. Definitive inferential estimation requires completing the 500 BehaviorSpace replications.

Keywords: entrepreneurial ecosystem, entrepreneurial behavior, university students, agent-based simulation, artificial intelligence

INTRODUCCIÓN

El emprendimiento universitario constituye un fenómeno multidimensional cuya explicación no puede reducirse a la decisión individual de crear una empresa. Las universidades participan en entornos donde convergen formación, investigación, incubación, transferencia de conocimiento, vinculación y acceso a redes. En consecuencia, la emergencia y continuidad de una iniciativa empresarial dependen de interacciones entre capacidades personales, decisiones, recursos y condiciones institucionales. La revisión sistemática de Correia et al. (2024) muestra que los ecosistemas de emprendimiento académico constituyen un campo creciente, aunque todavía existe pluralidad conceptual respecto de sus componentes, límites y mecanismos de funcionamiento.

Una parte importante de la literatura universitaria se ha concentrado en la intención emprendedora. Maheshwari et al. (2023), al revisar investigaciones publicadas entre 2005 y 2022, identificaron siete grandes grupos de determinantes: cognitivos, de personalidad, ambientales, sociales, educativos, contextuales y demográficos. Xanthopoulou y Sahinidis (2024) también señalan que la evidencia sobre los factores asociados con la intención no es completamente homogénea. Esta diversidad sugiere que el comportamiento emprendedor requiere modelos capaces de representar la interacción entre niveles explicativos y no únicamente relaciones aisladas entre variables.

La teoría del comportamiento planificado proporciona uno de los marcos más influyentes para comprender la formación de intenciones. Ajzen (1991) sostiene que la intención constituye un antecedente próximo de la conducta y se relaciona con la actitud, la norma subjetiva y el control conductual percibido. En emprendimiento, sin embargo, intención y acción no son equivalentes. Kautonen et al. (2015), utilizando datos longitudinales, aportaron evidencia sobre la capacidad de la teoría para predecir tanto intenciones de inicio empresarial como conducta posterior, y al mismo tiempo subrayaron la relevancia metodológica de estudiar la transición entre ambas.

Esta distinción es central para el presente estudio. Un estudiante puede manifestar intención de emprender sin llegar a crear una empresa; una empresa creada puede no superar la fase de operación; una organización en crecimiento puede consolidarse o experimentar deterioro; y el fracaso puede convertirse en un estado terminal o anteceder a un reintento. Por ello, la trayectoria emprendedora debe concebirse como una secuencia de estados condicionada por capacidades, restricciones y retroalimentaciones.

Entre los mecanismos individuales, la autoeficacia ocupa una posición relevante. Bandura (1997) conceptualizó la autoeficacia como las creencias sobre la propia capacidad para organizar y ejecutar cursos de acción. En el dominio emprendedor, Miao et al. (2017) sintetizaron evidencia que vincula la autoeficacia emprendedora con el desempeño de la empresa, aunque dicha relación depende de condiciones y moderadores. La autoeficacia, por tanto, no representa un resultado

aislado, sino un mecanismo que puede influir en persistencia, decisión y respuesta frente a dificultades.

La educación y el soporte universitario tampoco deben asumirse como intervenciones de efecto uniforme. Bae et al. (2014), en un metaanálisis de 73 estudios y 37,285 participantes, encontraron una asociación positiva pero pequeña entre educación emprendedora e intención emprendedora; al controlar la intención previa, la relación dejó de ser significativa. Este hallazgo advierte contra interpretaciones lineales según las cuales una mayor exposición educativa produciría automáticamente mayor intención o creación empresarial. El efecto puede depender de características previas del estudiante, diseño de la intervención y condiciones del contexto.

Desde una perspectiva ecosistémica, el problema se amplía. Los apoyos universitarios pueden actuar en momentos diferentes de la trayectoria: la formación puede fortalecer conocimiento; la investigación puede ampliar oportunidades basadas en conocimiento; la incubación puede reducir barreras de planificación y creación; la transferencia puede facilitar el paso desde conocimiento a aplicación; y la vinculación puede ampliar redes y recursos durante la operación y el crecimiento. La revisión de Correia et al. (2024) respalda la necesidad de analizar las instituciones de educación superior como componentes de ecosistemas emprendedores y no como actores aislados.

El carácter temporal y heterogéneo del fenómeno plantea una limitación para aproximaciones exclusivamente transversales. Un modelo estadístico puede estimar relaciones promedio entre variables, pero no necesariamente representa de manera explícita cómo agentes heterogéneos cambian de estado, cuánto permanecen en cada fase, qué condiciones producen fracaso o qué mecanismos favorecen un reintento. La simulación basada en agentes ofrece una estrategia complementaria porque permite formalizar reglas micro, ejecutar trayectorias temporales y observar patrones agregados emergentes.

Los modelos basados en agentes requieren, sin embargo, transparencia y reproducibilidad. Grimm et al. (2020) actualizaron el protocolo ODD —Overview, Design concepts and Details— como estándar para describir la estructura y dinámica de modelos individuales y basados en agentes. El protocolo enfatiza propósito, entidades, variables, escalas, procesos, inicialización y submodelos, y promueve una descripción suficientemente precisa para facilitar comprensión, evaluación y replicación. Estudios recientes de replicación muestran que la combinación de ODD y NetLogo puede mejorar la coherencia de la documentación y revelar omisiones en parámetros, reglas o programación (Grimm et al., 2024).

En paralelo, el concepto de gemelo digital ha ampliado el interés por representaciones virtuales capaces de reflejar sistemas reales. No obstante, la denominación exige cautela. Fuller et al. (2020) destacan la relación entre entidad física, representación digital y tecnologías de conexión como elemento central de los gemelos digitales. En consecuencia, una simulación autónoma no debe presentarse automáticamente como un gemelo digital plenamente operativo.

En este artículo se utiliza la expresión prototipo de modelo de gemelo digital basado en agentes para indicar que la arquitectura computacional está diseñada para representar y experimentar con un sistema de referencia, pero aún requiere calibración y validación mediante datos externos antes de afirmar sincronización con una contraparte real.

A partir de esta literatura se identifica una oportunidad de integración. En el plano teórico, resulta pertinente vincular mecanismos psicológicos, condiciones empresariales y apoyos universitarios dentro de una misma trayectoria. En el plano metodológico, se requiere representar explícitamente transición, permanencia, heterogeneidad, fracaso y reintento. En el plano aplicado, un entorno virtual permite comparar configuraciones institucionales antes de trasladar decisiones al sistema real. Estas oportunidades no sustituyen la investigación empírica; la complementan mediante experimentación computacional controlada.

En consecuencia, la pregunta de investigación es: ¿cómo interactúan las capacidades psicológicas del estudiante emprendedor y los apoyos del ecosistema universitario para configurar sus trayectorias desde la formación y la intención hasta la creación, el crecimiento, la consolidación, el fracaso y el reintento? El objetivo general fue desarrollar y evaluar un modelo computacional basado en agentes que simule el comportamiento emprendedor en estudiantes universitarios e integre factores psicológicos, empresariales y ecosistémicos bajo escenarios alternativos de apoyo y restricción. De manera específica, se buscó: (a) formalizar las reglas de transición entre etapas; (b) representar la influencia diferencial de los componentes del ecosistema; (c) verificar la coherencia funcional del modelo; y (d) comparar patrones emergentes observables bajo cinco configuraciones experimentales.

Emprendimiento como trayectoria y no como evento aislado

El enfoque adoptado considera el emprendimiento como un proceso de transición entre estados. Esta decisión conceptual permite distinguir antecedentes psicológicos, acciones de preparación, creación organizacional y resultados posteriores. La secuencia no implica determinismo: establece un orden lógico mínimo para que la creación y consolidación no aparezcan sin etapas antecedentes. En el modelo, todos los agentes comienzan en formación y deben cumplir condiciones de permanencia y umbrales antes de avanzar.

La separación entre intención y acción es consistente con la literatura que advierte una brecha entre ambas. Kautonen et al. (2015) mostraron que la intención puede predecir conducta posterior, pero su traducción en acción requiere seguimiento temporal. En términos computacionales, esta idea se representa evitando que la intención sea equivalente a creación: el agente debe transitar por planificación y satisfacer condiciones adicionales antes de crear una empresa.

El fracaso se incorpora como estado contingente y no como fase obligatoria. Esta decisión evita imponer artificialmente una experiencia negativa a todos los agentes. El reintento, a su vez, representa una trayectoria de recuperación: después de un período mínimo en fracaso, un agente

con motivación, intención y apoyo suficientes puede ingresar en reintento y regresar a planificación. Así, el modelo permite estudiar resiliencia procesual sin asumir que el fracaso conduce necesariamente a salida definitiva.

Capacidades psicológicas del emprendedor

La arquitectura psicológica integra intención, autoeficacia, actitud, motivación empresarial, conocimiento, obstáculos percibidos y motivación de logro. Estas variables no pretenden agotar la psicología del emprendimiento; constituyen una selección funcional para representar mecanismos relevantes en las transiciones. La intención se modela como una función de capacidades facilitadoras y obstáculos, mientras que otras variables cambian por experiencia y apoyo del ecosistema.

Ajzen (1991) ofrece el fundamento para considerar la intención como antecedente proximal de la conducta planificada. La actitud forma parte de esa arquitectura y expresa una valoración favorable o desfavorable hacia la acción. La autoeficacia se incorpora desde la teoría social cognitiva de Bandura (1997), dado que la percepción de capacidad puede afectar persistencia y ejecución. La evidencia metaanalítica de Miao et al. (2017) respalda su relevancia para resultados empresariales, sin justificar por sí sola una relación determinista.

La motivación y el conocimiento se incorporan como recursos internos que pueden evolucionar. Esta decisión permite representar que la experiencia acumulada y el soporte institucional modifican capacidades del agente. Los obstáculos operan en dirección contraria: elevadas barreras reducen la intención y, junto con la volatilidad del mercado, contribuyen al riesgo. La combinación produce una representación dinámica en la que la misma configuración institucional puede generar trayectorias distintas según el estado inicial de cada agente.

Ecosistema universitario como arquitectura de apoyo

El ecosistema universitario se desagrega en cinco componentes: apoyo universitario, investigación, incubación, transferencia y vinculación. La desagregación evita tratar a la universidad como una variable monolítica. Correia et al. (2024) muestran que la investigación sobre ecosistemas de emprendimiento académico comprende múltiples actores, mecanismos y niveles; por ello, la modelización debe permitir configuraciones alternativas.

En el modelo, los apoyos actúan de manera contingente al estado. Universidad e investigación tienen mayor influencia durante formación e intención; incubación e investigación operan durante planificación; incubación y transferencia intervienen en creación; vinculación y transferencia afectan operación, crecimiento y consolidación; y apoyo al reinicio e incubación intervienen durante reintento. Esta estructura constituye una hipótesis computacional que deberá calibrarse con evidencia empírica.

Las relaciones programadas no se interpretan como efectos causales empíricamente demostrados. Son mecanismos formalizados para explorar consecuencias lógicas. La utilidad

científica de la simulación reside precisamente en hacer explícitos esos supuestos, someterlos a análisis de sensibilidad y contrastarlos posteriormente con datos observados.

Hipótesis de simulación

H₁: Mayores niveles de apoyo universitario e investigación favorecerán la progresión desde formación e intención hacia planificación mediante el fortalecimiento del conocimiento y la actitud.

H₂: La incubación y la transferencia favorecerán la transición desde planificación y creación hacia operación al fortalecer conocimiento, autoeficacia y motivación de logro.

H₃: La vinculación y la transferencia favorecerán el desempeño y la continuidad durante operación, crecimiento y consolidación.

H₄: Mayores obstáculos y volatilidad incrementarán el riesgo y la probabilidad de fracaso, reduciendo crecimiento y consolidación.

H₅: El apoyo al reinicio favorecerá la transición desde fracaso hacia reintento y el retorno a planificación.

H₆: El ecosistema integral generará trayectorias más favorables hacia crecimiento y consolidación que el escenario base, mientras que crisis/barreras altas generará mayor fracaso y reintento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño

Se desarrolló un estudio metodológico de simulación computacional basado en agentes. La finalidad del modelo es explicativa y experimental: representar mecanismos hipotetizados de la trayectoria emprendedora y evaluar cómo configuraciones alternativas del ecosistema modifican patrones agregados. El modelo fue implementado en NetLogo 6.4.0. Para su documentación se adoptan los principios del protocolo ODD propuesto por Grimm et al. (2020), con énfasis en propósito, entidades, variables, procesos, inicialización y submodelos.

Entidades, unidad de análisis y escala temporal

La unidad computacional es el agente emprendedor. Cada ejecución se inicializa con 60 agentes. Todos comienzan en el estado FORMACIÓN y evolucionan en tiempo discreto medido en ticks. Un tick representa un período abstracto de actualización y no se equipara todavía a días, semanas o meses; dicha equivalencia requiere calibración empírica. En cada tick se actualizan capacidades, condiciones empresariales, riesgo, apoyo recibido y reglas de transición.

Estados del ciclo emprendedor

Tabla 1

Estados y permanencia mínima del modelo

Estado	Permanencia mínima	Función en el modelo
Formación	4	Desarrollo inicial de conocimiento y actitud.
Intención	4	Maduración de disposición emprendedora.
Planificación	5	Preparación de la iniciativa antes de creación.
Creación	5	Constitución/inicio; expuesta a riesgo y fracaso.
Operación	6	Funcionamiento empresarial previo al crecimiento.
Crecimiento	8	Escalamiento previo a consolidación.
Consolidación	10 antes de evaluar crisis extrema	Estado productivo final; puede deteriorarse bajo crisis extrema.
Fracaso	5	Estado contingente por pérdidas, baja liquidez o riesgo elevado.
Reintento	5	Reconfiguración que retorna a planificación si se cumplen condiciones.

Nota. La permanencia mínima se expresa en ticks del modelo.

Variables y formalización psicológica

La intención se calcula mediante una combinación lineal limitada al intervalo [0,1]. En la versión actual, la ecuación programada es: $\text{intención} = 0.22(\text{autoeficacia}) + 0.18(\text{actitud}) + 0.15(\text{motivación empresarial}) + 0.15(\text{conocimiento}) - 0.12(\text{obstáculos}) + 0.20(\text{motivación de logro})$. Los coeficientes son provisionales y constituyen parámetros teóricos del prototipo; no deben interpretarse como estimaciones empíricas. Su reemplazo futuro por coeficientes obtenidos mediante datos observados forma parte del plan de calibración.

El uso de coeficientes provisionales es metodológicamente admisible en una fase de prototipado siempre que se haga explícito y se someta a análisis de sensibilidad. La validez del modelo no depende de la complejidad de su interfaz, sino de la trazabilidad entre teoría, regla programada, comportamiento emergente y evidencia externa.

Reglas de transición

Tabla 2

Reglas de transición del ciclo emprendedor

Transición	Condición principal
Formación → Intención	tiempo ≥ 4 e intención $\geq .38$
Intención → Planificación	tiempo ≥ 4 , intención $\geq .46$ y conocimiento $\geq .34$
Planificación → Creación	tiempo ≥ 5 , intención $\geq .50$ y autoeficacia $\geq .40$

Creación → Operación	tiempo ≥ 5 , autoeficacia $\geq .46$, motivación de logro $\geq .46$ y liquidez $> .28$, sin condición de fracaso
Operación → Crecimiento	tiempo ≥ 6 , intención $\geq .56$, desempeño $\geq .52$, liquidez $\geq .30$ y riesgo $< .62$
Crecimiento → Consolidación	tiempo ≥ 8 , intención $\geq .62$, conocimiento $\geq .54$, autoeficacia $\geq .54$, desempeño $\geq .55$ y liquidez $\geq .36$
Fracaso → Reintento	tiempo ≥ 5 , motivación de logro $\geq .42$, intención $\geq .38$ y apoyo al reinicio $\geq .35$
Reintento → Planificación	tiempo ≥ 5 , intención $\geq .44$, autoeficacia $\geq .38$ y liquidez $\geq .20$

El fracaso puede activarse en creación, operación o crecimiento cuando se cumplen condiciones de pérdidas acumuladas, liquidez insuficiente o riesgo elevado. En consolidación solo se evalúa después de una permanencia mínima y bajo condiciones extremas. El código incorpora una validación de transiciones permitidas para impedir saltos de estado y registra como máximo una transición por tick.

Escenarios experimentales

Tabla 3

Configuración de los cinco escenarios experimentales

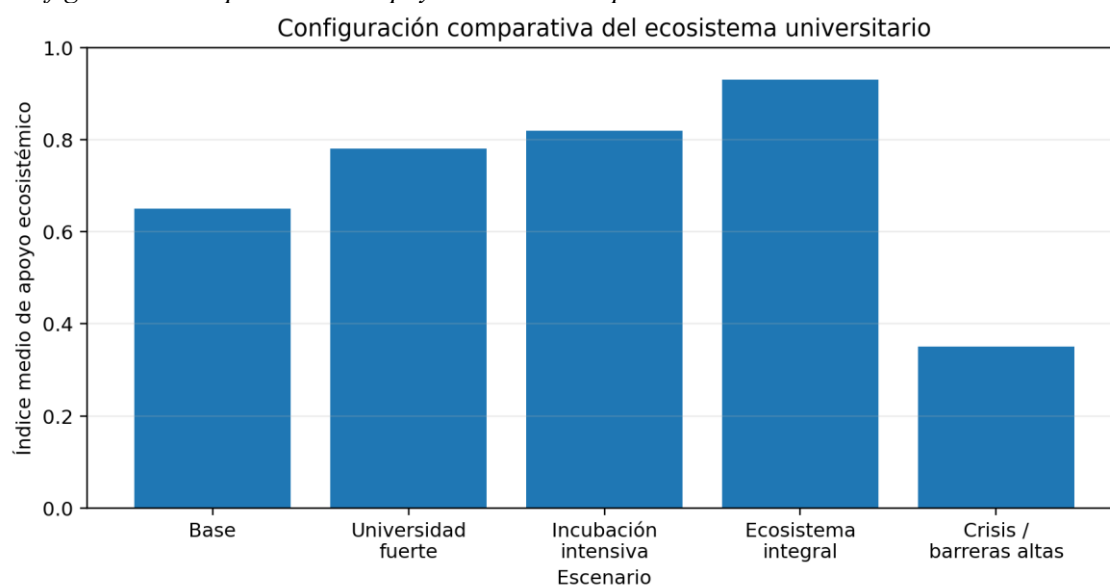
Escenario	Universidad	I+D	Incubación	Transferencia	Vinculación	Presión obstáculos	Volatilidad
Base	.70	.60	.70	.60	.65	.35	.35
Universidad fuerte	.95	.85	.75	.65	.70	.22	.30
Incubación intensiva	.75	.70	1.00	.90	.75	.25	.30
Ecosistema integral	.95	.90	.95	.90	.95	.15	.22
Crisis / barreras altas	.40	.35	.35	.30	.35	.90	.90

Nota. Los parámetros se expresan en una escala de 0 a 1.

Además de los parámetros mostrados, cada escenario configura apoyo al reinicio, intensidad de IA e influencia de pares. El escenario base funciona como referencia; universidad fuerte intensifica especialmente universidad e investigación; incubación intensiva eleva incubación y transferencia; ecosistema integral combina niveles altos de apoyo con menores barreras; y crisis/barreras altas reduce apoyos e incrementa presión de obstáculos y volatilidad.

Figura 1

Configuración comparativa del apoyo ecosistémico por escenario



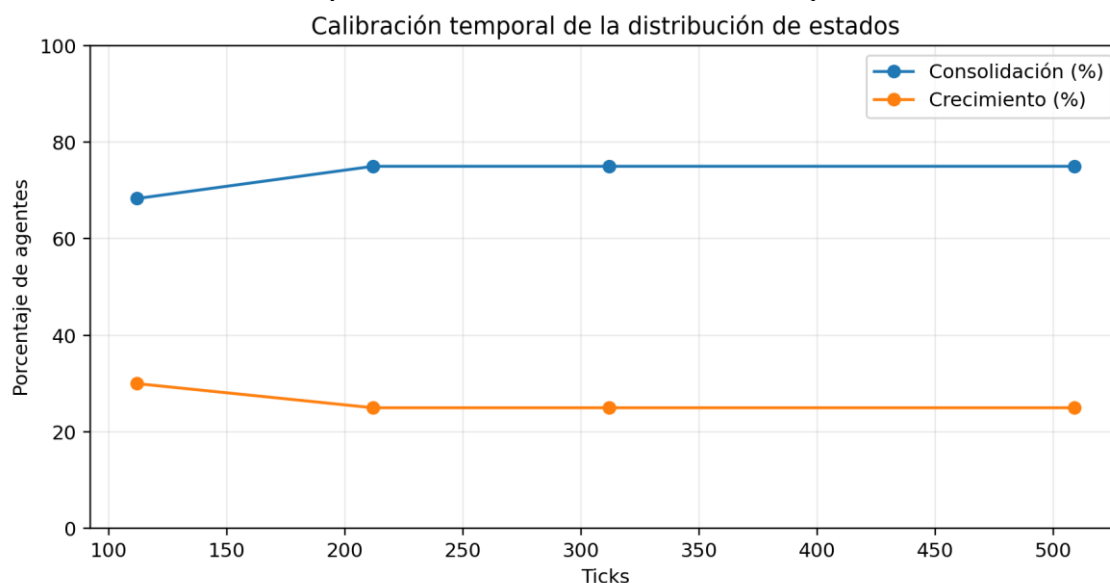
Nota. El índice corresponde al promedio simple de universidad, I+D, incubación, transferencia y vinculación; se utiliza únicamente como síntesis descriptiva de la configuración.

Verificación computacional

La verificación se realizó de forma iterativa mediante revisión del código, controles internos y pruebas de ejecución. Se comprobaron: conservación de la población en nueve estados; consistencia de perfiles; correspondencia entre causas de fracaso y fracasos acumulados; restricción de indicadores al intervalo esperado; correspondencia de la etapa dominante con el máximo real; ausencia de una etapa crítica artificial cuando no existen agentes en las etapas de flujo; y bloqueo de transiciones no permitidas. Asimismo, se corrigieron referencias espaciales fuera del mundo configurado y se reorganizó la inicialización del contador de ticks.

Calibración temporal

Antes de fijar el horizonte de BehaviorSpace se efectuó una corrida manual de calibración. Se registraron estados e indicadores aproximadamente a 112, 212, 312 y 509 ticks. El propósito no fue estimar efectos poblacionales, sino identificar un horizonte suficientemente largo para capturar estabilización estructural sin prolongar innecesariamente la simulación.

Figura 2*Evolución de consolidación y crecimiento durante la calibración temporal*

Nota. La estabilización de la distribución de estados ocurre antes que la estabilización de todas las variables internas

Tabla 4*Calibración temporal observada en el escenario base*

Tick	Consolidación	Crecimiento	Operación	Riesgo	Avance promedio
112	68.33 % (41)	30.00 % (18)	1.67 % (1)	.155	6.67
212	75.00 % (45)	25.00 % (15)	0	.108	6.75
312	75.00 % (45)	25.00 % (15)	0	.090	6.75
509	75.00 % (45)	25.00 % (15)	0	.078	6.75

Nota. Valores procedentes de una corrida de calibración temporal; no son medias de las 100 réplicas.

Diseño experimental con BehaviorSpace

El protocolo definitivo se configuró mediante BehaviorSpace, herramienta integrada en NetLogo para ejecutar múltiples repeticiones y registrar métricas. Se definieron cinco experimentos, uno por escenario, con 100 réplicas independientes y un límite de 500 ticks por réplica, para un total previsto de 500 ejecuciones. BehaviorSpace permite repetir sistemáticamente un modelo y registrar resultados, lo que facilita explorar el espacio de comportamientos y cuantificar variabilidad entre ejecuciones.

Las métricas programadas incluyen ticks, empresa activa, consolidación, fracaso, reintento, avance promedio, fracasos acumulados, reintentos activados, transiciones, intención, autoeficacia, actitud, motivación empresarial, conocimiento, obstáculos, motivación de logro, riesgo, desempeño, liquidez e índice del ecosistema.

Estrategia de análisis

Una vez disponibles los archivos de BehaviorSpace, el análisis definitivo deberá verificar integridad de las 100 réplicas por escenario, datos faltantes y ejecuciones anómalas. Para cada

métrica se calcularán media, desviación estándar, mediana, rango intercuartílico e intervalos de confianza. Las comparaciones entre escenarios deberán acompañarse de tamaños de efecto y análisis de distribución, evitando limitar la interpretación a diferencias de medias. Dado que los resultados provienen de simulación, la inferencia se referirá al comportamiento del modelo bajo sus supuestos y no directamente a una población humana.

El análisis de sensibilidad evaluará la robustez de los resultados frente a cambios razonables en coeficientes psicológicos, umbrales de transición, intensidad de apoyos y condiciones de riesgo. Esta fase es indispensable porque los parámetros actuales no han sido estimados empíricamente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis se organizó en dos niveles: verificación/calibración temporal y observación comparativa de corridas diagnósticas por escenario. En todos los casos se verificó la conservación de los 60 agentes y el tránsito por los estados definidos. Las capturas del modelo evidencian que las trayectorias no son instantáneas: los agentes se distribuyen entre formación, intención, planificación, creación y operación antes de desplazarse hacia crecimiento o consolidación; bajo condiciones adversas aparecen fracaso y reintento.

En el escenario base, la corrida de calibración mostró una transición progresiva hacia los estados superiores. La consolidación representó 68.33 % de los agentes (41 de 60) en el tick 112 y alcanzó 75.00 % (45 de 60) en el tick 212. Esta distribución se mantuvo en los ticks 312 y 509, con 25.00 % de los agentes en crecimiento. Paralelamente, el riesgo promedio descendió de .155 a .108, .090 y .078, respectivamente. El avance promedio se estabilizó en 6.75 desde el tick 212. El patrón indica convergencia estructural de los estados antes de la estabilización completa de todas las variables internas.

Las corridas diagnósticas de los escenarios con fortalecimiento institucional mostraron un patrón coherente con la arquitectura del modelo. En Universidad fuerte, el incremento del apoyo universitario e investigación aceleró la acumulación de conocimiento y sostuvo el tránsito hacia crecimiento. En Incubación intensiva, el mayor peso de incubación y transferencia favoreció el paso desde planificación y creación hacia operación y crecimiento. En Ecosistema integral, la combinación de altos niveles de universidad, investigación, incubación, transferencia y vinculación produjo una rápida presencia de agentes en crecimiento y, posteriormente, consolidación. Estas observaciones son consistentes con H1-H3 y con la dirección esperada de H6, aunque su magnitud definitiva debe estimarse sobre las réplicas completas de BehaviorSpace.

Figura 3

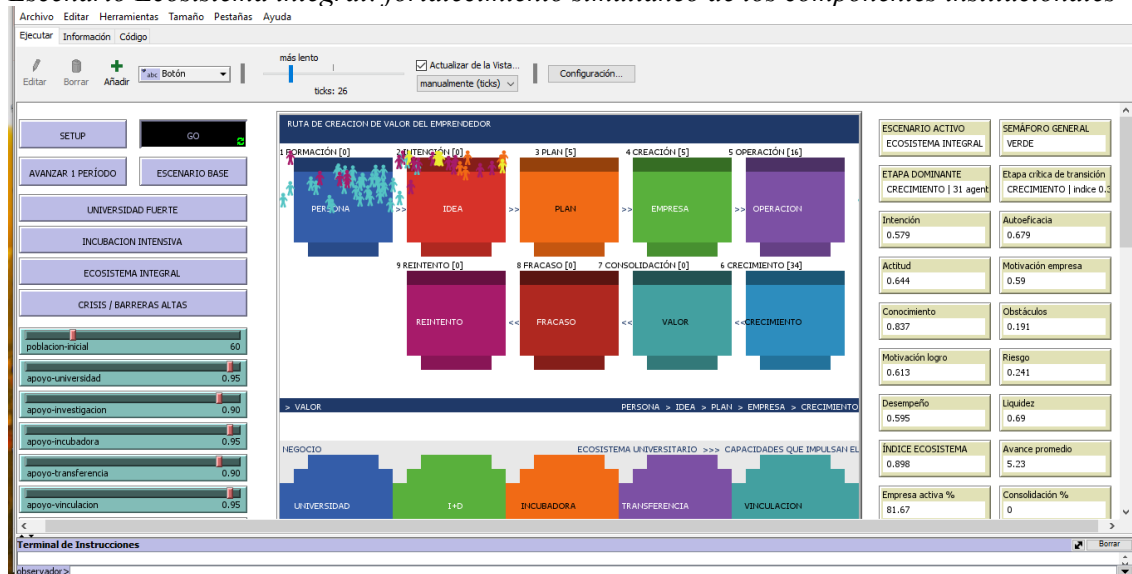
Escenario Universidad fuerte: distribución temprana de agentes y parámetros institucionales



Nota. Captura observada en el tick 29. El panel registra índice de ecosistema .754 y presencia de agentes en crecimiento

Figura 4

Escenario Ecosistema integral: fortalecimiento simultáneo de los componentes institucionales

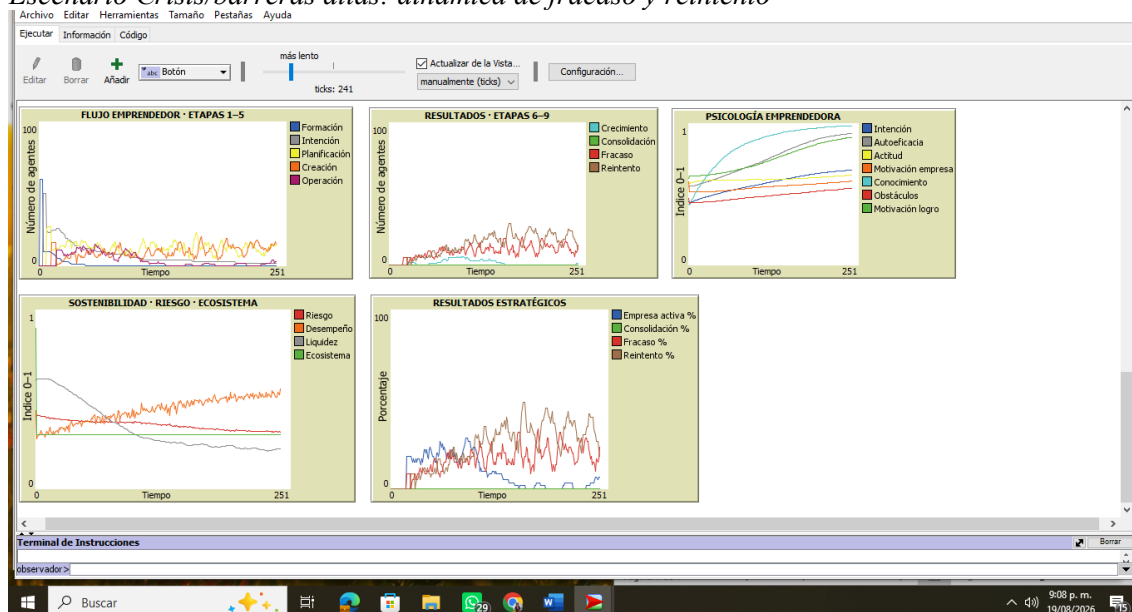


Nota. Captura observada en el tick 26. El índice de ecosistema mostrado es .898 y el avance promedio 5.23.

El escenario Crisis/barreras altas produjo un comportamiento cualitativamente distinto. Con apoyos institucionales bajos, presión de obstáculos de .90 y volatilidad de .90, la corrida observada mostró acumulación de agentes en reintento y fracaso, ausencia de agentes en crecimiento y consolidación en la captura correspondiente y un semáforo general ámbar. En el tick 212 se observaron 23 agentes en reintento, junto con agentes distribuidos entre intención, planificación, creación y fracaso. Este patrón es congruente con H_4 y muestra que el modelo responde de manera sensible a una configuración adversa del entorno.

Figura 5

Escenario Crisis/barreras altas: dinámica de fracaso y reintento



Nota. La corrida muestra oscilación entre estados, aumento del peso de fracaso/reintento y deterioro de los resultados estratégicos

En conjunto, las corridas observadas muestran tres regularidades emergentes: primero, los apoyos institucionales actúan de manera dependiente de la etapa y no como un estímulo uniforme; segundo, el fortalecimiento ecosistémico desplaza la distribución hacia estados empresariales superiores; y tercero, las barreras altas interrumpen la progresión y activan circuitos de fracaso-reintento. Estos resultados describen el comportamiento de las corridas diagnósticas efectivamente observadas. La comparación estadística inferencial entre los cinco escenarios se realizará sobre las 100 réplicas por escenario ya configuradas en BehaviorSpace.

Tabla 5

Indicadores observados en capturas diagnósticas seleccionadas

Escenario	Tick	Índice ecosistema	Intención	Riesgo	Empresa activa %	Consolidación %
Base	62	.638	.614	.118	96.67	43.33
Universidad fuerte	29	.754	.559	.279	68.33	0
Incubación intensiva	29	.788	.569	.258	66.67	0
Ecosistema integral	26	.898	.579	.241	81.67	0
Crisis / barreras altas	212	.300	.659	.321	0	0

Nota. Las capturas corresponden a momentos distintos de corridas individuales; por ello no deben interpretarse como una comparación estadística entre escenarios. Su función es documentar el comportamiento diagnóstico observado del modelo.

Los resultados respaldan la pertinencia de representar el emprendimiento universitario como trayectoria y no como evento único. Ajzen (1991) sitúa la intención como antecedente próximo de la conducta, pero la simulación muestra por construcción que una intención favorable

no equivale automáticamente a creación ni a consolidación. Esta separación es compatible con la evidencia longitudinal de Kautonen et al. (2015), quienes distinguen entre intención y acción emprendedora. El modelo amplía esa lógica al incorporar estados posteriores y contingentes, incluidos crecimiento, consolidación, fracaso y reintento.

La dinámica observada también permite interpretar la autoeficacia como un mecanismo de persistencia y transición. Bandura (1997) plantea que las creencias de eficacia influyen en la organización y ejecución de cursos de acción, mientras que Miao et al. (2017) documentaron una relación positiva entre autoeficacia emprendedora y desempeño empresarial. En el modelo, la autoeficacia no opera de forma aislada: interactúa con conocimiento, intención, motivación de logro, liquidez y riesgo. Esta arquitectura evita atribuir el resultado empresarial a una sola disposición psicológica.

Los escenarios institucionales refuerzan una interpretación ecosistémica. Correia et al. (2024) muestran que el emprendimiento académico depende de configuraciones de actores, recursos y mecanismos de apoyo. En las corridas diagnósticas, Universidad fuerte, Incubación intensiva y Ecosistema integral generaron trayectorias más favorables que la configuración de crisis. El hallazgo no debe interpretarse como una estimación causal del mundo real, sino como evidencia de coherencia interna: cuando se fortalecen los mecanismos programados, emergen patrones agregados congruentes con las relaciones teóricas formalizadas.

El contraste entre Ecosistema integral y Crisis/barreras altas es especialmente informativo. El primero combina apoyos altos y menor presión contextual; el segundo reduce los apoyos y eleva simultáneamente obstáculos y volatilidad. La aparición de fracaso y reintento en el escenario adverso muestra que el sistema no está diseñado para producir consolidación de manera automática. Esta propiedad es importante porque una simulación útil debe responder a perturbaciones y generar resultados diferenciados bajo condiciones alternativas.

Desde la perspectiva metodológica, la estabilización de estados antes que la estabilización completa de las variables internas indica que la dinámica tiene escalas temporales diferentes. Un agente puede permanecer en crecimiento o consolidación mientras continúan cambiando riesgo, conocimiento, motivación o liquidez. Esta característica justifica el uso de simulación temporal y advierte que una fotografía transversal podría ocultar mecanismos de adaptación.

La incorporación de componentes de inteligencia artificial en la interfaz —intensidad de IA, alertas y reglas de apoyo a la decisión— se interpreta como una capa de asistencia computacional dentro del prototipo, no como evidencia de aprendizaje autónomo del modelo. Asimismo, la denominación de gemelo digital debe mantenerse prudente. Fuller et al. (2020) destacan la conexión entre entidad física y representación digital; por ello, la arquitectura presentada es un prototipo orientado a gemelo digital y requerirá calibración, actualización y validación con datos empíricos externos para alcanzar esa condición en sentido estricto.

Finalmente, la reproducibilidad constituye un componente central. El uso de NetLogo, la explicitación de reglas y la configuración de BehaviorSpace permiten repetir los experimentos y someter parámetros y umbrales a sensibilidad. Esta práctica es consistente con el protocolo ODD propuesto por Grimm et al. (2020), cuyo propósito es mejorar claridad, replicabilidad y evaluación estructural de modelos basados en agentes.

Implicaciones teóricas

El modelo propone integrar tres niveles —psicológico, empresarial y ecosistémico— dentro de una trayectoria temporal. Su valor teórico potencial radica en desplazar la explicación desde una relación estática entre intención y antecedentes hacia un sistema de mecanismos que producen transiciones. Esta arquitectura permite formular hipótesis sobre cuándo y cómo un apoyo universitario puede modificar capacidades y, posteriormente, estados empresariales.

Implicaciones metodológicas

La principal implicación metodológica es la formalización explícita de supuestos. Cada umbral, coeficiente y regla puede ser inspeccionado, modificado y sometido a sensibilidad. El modelo ofrece además una plataforma para combinar evidencia empírica futura con experimentación in silico. La adopción del protocolo ODD y la conservación del código fuente son recomendables para asegurar reproducibilidad.

Implicaciones para la gestión universitaria

Para la gestión universitaria, el modelo permite explorar políticas hipotéticas antes de su implementación: fortalecer formación e investigación, intensificar incubación, ampliar transferencia y vinculación, o activar mecanismos de reinicio. La finalidad no es predecir de manera determinista el destino de un estudiante, sino comparar distribuciones de trayectorias bajo supuestos explícitos y detectar puntos críticos donde una intervención institucional podría tener mayor utilidad.

CONCLUSIONES

El estudio desarrolló un modelo basado en agentes que representa el comportamiento emprendedor de estudiantes universitarios como una trayectoria dinámica configurada por capacidades psicológicas, condiciones empresariales y apoyos del ecosistema. La arquitectura distingue formación, intención, planificación, creación, operación, crecimiento y consolidación, e incorpora fracaso y reintento como estados contingentes.

Las corridas observadas muestran que el fortalecimiento de los apoyos universitarios se asocia, dentro de la lógica formal del modelo, con mayor progresión hacia crecimiento y consolidación, mientras que una configuración de barreras altas interrumpe la trayectoria y activa fracaso y reintento. En el escenario base, la calibración temporal mostró estabilización de la consolidación en 75 % desde el tick 212 hasta el tick 509 y una reducción sostenida del riesgo promedio.

El principal aporte es teórico-metodológico: integrar en una misma plataforma la psicología emprendedora, el ecosistema universitario y la dinámica empresarial, haciendo explícitas las reglas que conectan microdecisiones y resultados agregados. El modelo permite formular y contrastar hipótesis de simulación, identificar mecanismos y comparar escenarios institucionales reproducibles.

La evidencia presentada corresponde a verificación, calibración y corridas diagnósticas observadas. La siguiente etapa consiste en procesar las 500 réplicas configuradas en BehaviorSpace, estimar diferencias entre escenarios y realizar análisis de sensibilidad. Posteriormente, la calibración y validación con datos de estudiantes y emprendimientos reales permitirá evaluar su evolución desde un prototipo de simulación hacia un gemelo digital empíricamente sincronizado.

REFERENCIAS

- Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 50(2), 179–211. [https://doi.org/10.1016/0749-5978\(91\)90020-T](https://doi.org/10.1016/0749-5978(91)90020-T)
- Bae, T. J., Qian, S., Miao, C., & Fiet, J. O. (2014). The relationship between entrepreneurship education and entrepreneurial intentions: A meta-analytic review. *Entrepreneurship Theory and Practice*, 38(2), 217–254. <https://doi.org/10.1111/etap.12095>
- Bandura, A. (1997). Self-efficacy: The exercise of control. W. H. Freeman.
- Correia, M. P., Marques, C. S., Silva, R., & Ramadani, V. (2024). Academic entrepreneurship ecosystems: Systematic literature review and future research directions. *Journal of the Knowledge Economy*, 15, 17498–17528. <https://doi.org/10.1007/s13132-024-01819-x>
- Fuller, A., Fan, Z., Day, C., & Barlow, C. (2020). Digital twin: Enabling technologies, challenges and open research. *IEEE Access*, 8, 108952–108971. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2998358>
- Grimm, V., Railsback, S. F., Vincenot, C. E., Berger, U., Gallagher, C., DeAngelis, D. L., Edmonds, B., Ge, J., Giske, J., Groeneveld, J., Johnston, A. S. A., Milles, A., Nabe-Nielsen, J., Polhill, J. G., Radchuk, V., Rohwäder, M.-S., Stillman, R. A., Thiele, J. C., & Ayllón, D. (2020). The ODD protocol for describing agent-based and other simulation models: A second update to improve clarity, replication, and structural realism. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 23(2), Article 7. <https://doi.org/10.18564/jasss.4259>
- Kautonen, T., van Gelderen, M., & Fink, M. (2015). Robustness of the theory of planned behavior in predicting entrepreneurial intentions and actions. *Entrepreneurship Theory and Practice*, 39(3), 655–674. <https://doi.org/10.1111/etap.12056>
- Maheshwari, G., Kha, K. L., & Arokiasamy, A. R. A. (2023). Factors affecting students' entrepreneurial intentions: A systematic review (2005–2022) for future directions in theory and practice. *Management Review Quarterly*, 73(4), 1903–1970. <https://doi.org/10.1007/s11301-022-00289-2>
- Maza-Ávila, F. J., Pérez-Suárez, M., & Murillo-Ferrer, D. (2024). Intención emprendedora en el alumnado universitario: Una revisión sistemática. *Revista de Ciencias Sociales*, 30(1), 166–187. <https://doi.org/10.31876/rcs.v30i1.41645>
- Miao, C., Qian, S., & Ma, D. (2017). The relationship between entrepreneurial self-efficacy and firm performance: A meta-analysis of main and moderator effects. *Journal of Small Business Management*, 55(1), 87–107. <https://doi.org/10.1111/jsbm.12240>
- Rubio Hernández, F. J., & Lisbona Bañuelos, A. M. (2022). Intención emprendedora en estudiantes universitarios: Revisión sistemática de alcance de la producción científica. *Universitas Psychologica*, 21, 1–17. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.upsy21.ieeu>

- Wilensky, U. (1999). NetLogo. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University.
- Xanthopoulou, P., & Sahinidis, A. (2024). Students' entrepreneurial intention and its influencing factors: A systematic literature review. *Administrative Sciences*, 14(5), Article 98. <https://doi.org/10.3390/admsci14050098>