



**Análisis de la transferencia tecnológica universitaria: una mirada desde la relación universidad–  
empresa en universidades colombianas**

José Eduardo Navarrete Velásquez

Tesis doctoral presentada para optar al título de Doctor en Gestión de la Tecnología y la Innovación

Director

Carlos Ocampo López, Doctor (PhD) en Ingeniería

Universidad Pontificia Bolivariana

Escuela de Ingenierías

Escuela de Economía, Administración y Negocios

Doctorado en Gestión de la Tecnología y la Innovación

Medellín, Antioquia, Colombia

2026

El contenido de este documento no ha sido presentado con anterioridad para optar a un título, ya sea en igual forma o con variaciones, en esta o en cualquiera otra universidad.

### **Dedicatoria**

Dedico este trabajo a mi familia, que siempre me ha acompañado y me ha brindado su apoyo incondicional en cada una de las decisiones profesionales y académicas que he emprendido. también a María Claudia, por su apoyo constante, por ser mi soporte, mi compañía en las largas noches de trabajo, mi amiga y confidente.

### Agradecimientos

Agradezco a cada uno de mis maestros, con quienes he tenido la oportunidad de compartir experiencias y adquirir nuevos aprendizajes. A todos ellos, mi reconocimiento por enaltecer una profesión tan valiosa como lo es la docencia. De manera muy especial, expreso mi gratitud al Doctor Carlos Ocampo por sus enseñanzas contantes, su acompañamiento y compromiso integral en mi proceso de formación y en el desarrollo de esta investigación. Asimismo, agradezco al Comité Tutorial, conformado inicialmente por la Doctora Diana Giraldo y el Doctor Santiago Quintero, y actualmente por el Doctor Jorge Manrique y el Doctor Edgar René Yepes, por sus sabios consejos. Extiendo también mi agradecimiento al Doctor Diego Gómez por sus valiosos aportes al desarrollo de la tesis; a mis compañeros de estudio César y Ana por acompañarme en este camino, a mis amigos de siempre María Luisa y Geovanny por su apoyo incondicional, a los evaluadores por sus importantes aportes y finalmente y al profesor Luciano Gallón, por su orientación permanente y su apoyo tanto en su rol como docente como en su labor de director del Doctorado.

**Tabla de contenido**

Resumen.....	14
Abstract .....	15
Introducción .....	16
1 Capítulo 1. Planteamiento del problema, pregunta, hipótesis, objetivos y estructura de la tesis .....	18
1.1 Problema de investigación .....	18
1.2 Justificación.....	19
1.3 Pregunta de investigación.....	20
1.4 Hipótesis.....	20
1.5 Objetivos .....	20
1.5.1 Objetivo General .....	20
1.5.2 Objetivos Específicos .....	21
2 Capítulo 2. Marco teórico y estado del arte.....	22
2.1 Marco teórico.....	22
2.1.1 Transferencia Tecnológica.....	22
2.2 Estado del arte .....	28
2.2.1 Transferencia tecnológica universitaria .....	28
2.2.2 Aproximación a paradigmas de modelación y simulación en la TT.....	41
2.2.2.1 Modelación y simulación basada en agentes.....	44
3 Capítulo 3. Metodología de la Investigación .....	46
3.1 Clasificación de la investigación.....	46
3.2 Fases de la investigación .....	46
3.3 Población y Muestra .....	49
3.4 Selección de las variables objeto de estudio .....	50
3.5 Modelo de Simulación Basado en Agentes.....	56

---

3.5.1 Estructura del modelo y la simulación .....	58
3.5.2 Validación del modelo .....	63
3.6 Instrumento de recolección de datos .....	64
3.6.1 Validación del instrumento de recolección de datos .....	66
3.6.2 Instrumento de validación del modelo .....	69
3.6.3 Recolección de datos.....	70
3.6.4 Fuentes de datos .....	71
3.6.5 Análisis de los datos recolectados.....	71
3.6.6 Consideraciones éticas .....	72
4 Capítulo 4. Resultados y discusión .....	73
4.1 Análisis de los datos .....	75
4.1.1 Análisis descriptivo de los datos.....	75
4.1.2 Análisis multivariado de los datos.....	81
4.1.2.1 Capacidades de investigación frente a tecnologías y su TRL. La relación entre el número	81
4.1.2.2 Capacidades de investigación (Grupos de investigación) frente a ingresos por regalías en TT .....	84
4.1.3 Número de tecnologías frente a los proyectos transferidos y a los ingresos por regalías. ....	85
4.1.3.1 Tecnologías activas frente a los incentivos para la transferencia tecnológica. ....	90
4.1.3.2 Comparación entre los proyectos transferidos frente a los ingresos por TT.....	91
4.1.4 Análisis de Componentes Principales.....	93
4.1.4.1 Resultados por familia de variables .....	94
4.1.4.1.1 Familia 1. Región, grupos de investigación y proyectos. ....	94
4.1.4.1.2 Familia 2. Grupos de investigación, proyectos e inversión.....	96
4.1.4.1.3 Familia 3. Desempeño de los procesos de TT. ....	98
4.1.5 Conclusiones del análisis de datos .....	101
4.2 Modelo y simulación .....	103

---

4.2.1 Definición del paradigma de simulación .....	103
4.2.2 Modelo Conceptual .....	107
4.2.2.1 Relaciones funcionales del modelo.....	110
4.2.2.2 Entorno del modelo.....	111
4.2.2.1.1 Definición de agentes y condiciones iniciales del modelo.....	112
4.2.2.1.2 Reglas de interacción entre los agentes .....	113
4.2.2.1.3 Objetivos del modelo .....	116
4.2.2.1.4 Aspectos excluidos del modelo:.....	117
4.2.3 Calibración y verificación del modelo conceptual utilizando simulación en NetLogo® .....	118
4.2.3.1 Detalles del modelo.....	119
4.2.3.1.1 Inicialización del modelo.....	119
4.2.3.2 Datos de entrada y calibración de variables. ....	121
4.2.3.2.1 Elección del método de muestreo. ....	122
4.2.3.2.2 Implementación del muestreo por la variable “Riqueza”.....	123
4.2.3.2.2 Implementación del muestreo por la variable “Número de proyectos.....	125
4.2.3.2.3 Implementación del muestreo por la variable “TRL-umbral” .....	128
4.2.3.3 Análisis de sensibilidad del modelo.....	130
4.2.4 Validación del modelo .....	132
4.2.5 Desarrollo de los experimentos .....	134
4.2.5.1 Experimento 1: Una sola universidad – Línea base.....	135
4.2.5.1.1 Análisis factorial ANOVA. ....	136
4.2.5.1.2 Análisis de sensibilidad global (Morris).....	137
4.2.5.1.3 Conclusión del experimento 1. ....	138
4.2.5.2 Experimento 2: Dos universidades – Completo. ....	138
4.2.5.2.1 Análisis factorial ANOVA. ....	139

---

4.2.5.2.2 Análisis de sensibilidad global (Morris).....	140
4.2.5.2.3 Conclusión del experimento 2. ....	141
4.2.5.3 Conclusión integradora de los experimentos 1 y 2.....	142
4.3 Definición de políticas y estrategias.....	143
4.3.1 Política de fortalecimiento de capacidades institucionales .....	145
4.3.1.1 Estrategias asociadas.....	145
4.3.2 Política de incentivos a la colaboración temprana.....	145
4.3.2.1 Estrategias asociadas.....	146
4.3.3 Política de articulación interinstitucional.....	146
4.3.3.1 Estrategias asociadas.....	146
4.3.4 Política de gestión integral de la propiedad intelectual (PI) .....	147
4.3.4.1 Estrategias asociadas.....	147
4.3.5 Política de financiación sostenible para la TT .....	148
4.3.5.1 Estrategias asociadas.....	148
4.3.6 Política de cultura institucional para la TT .....	148
4.3.6.1 Estrategias asociadas.....	148
4.3.7 Conclusiones del capítulo de generación de políticas y estrategias .....	149
4.4 Discusión .....	150
5. Capítulo 5. Conclusiones, Contribuciones, Limitaciones e Investigaciones Futuras .....	154
5.1 Conclusiones .....	154
5.2 Contribuciones .....	156
5.3 Limitaciones de la investigación.....	158
5.4 Propuesta de investigaciones futuras .....	159
6 Referencias .....	160
7 Anexos .....	181

---

7.1 Anexo 1. <i>Calificación de variables por parte de expertos utilizando el Ábaco de Régnier</i> .....	181
7.2 Anexo 2. <i>Variables seleccionadas</i> .....	183
7.3 Anexo 3. <i>Clasificación de las variables por tipología</i> .....	186
7.4 Anexo 4. <i>Instrumento de validación del cuestionario</i> .....	191
7.5 Anexo 5. <i>Instrumento de recolección de datos</i> .....	194
7.6 Anexo 6. <i>Instrumento de validación del modelo</i> .....	204

---

**Lista de tablas**

<b>Tabla 1</b> Modelos de TT según su enfoque.....	23
<b>Tabla 2</b> Modelo genérico de TT.....	35
<b>Tabla 3</b> Lista de elementos en la TT .....	39
<b>Tabla 4</b> Instituciones de Educación Superior en Antioquia con carácter académico de Universidad .....	50
<b>Tabla 5</b> Instituciones de Educación Superior en Risaralda con carácter académico de Universidad .....	50
<b>Tabla 6</b> Identificación de variables.....	51
<b>Tabla 7</b> Selección final de las variables .....	56
<b>Tabla 8</b> Diagrama de agentes.....	59
<b>Tabla 9</b> Preguntas orientadoras.....	65
<b>Tabla 10</b> Descripción de valores estadísticos para el IVC .....	67
<b>Tabla 11</b> Índice de validación de Contenido del instrumento de recolección de datos .....	68
<b>Tabla 12</b> Correlación número de grupos de investigación VS tecnologías y su TRL .....	83
<b>Tabla 13</b> Correlación Número de grupos de investigación VS ingresos por transferencia tecnológica .....	85
<b>Tabla 14</b> Número de tecnologías frente a los proyectos transferidos y a los ingresos por regalías .....	86
<b>Tabla 15</b> Número de tecnologías frente Incentivos para la TT .....	91
<b>Tabla 16</b> Proyectos transferidos frente a los ingresos por regalías .....	93
<b>Tabla 17</b> Cargas de Componentes Principales para la Familia 1: Región, Grupos de Investigación y Número de Proyectos.....	96
<b>Tabla 18</b> Cargas de Componentes Principales para la Familia 2: Grupos de Investigación, proyectos e inversión .....	97
<b>Tabla 19</b> Cargas de Componentes Principales para la Familia 3: (Capacidades: grupos de investigación, inversión, proyectos VS Resultados: vinculación con empresas, proyectos transferidos, ingresos por transferencia) .....	99
<b>Tabla 20</b> Comparación entre los paradigmas de modelación.....	104
<b>Tabla 21</b> Relaciones funcionales del modelo conceptual .....	110

---

<b>Tabla 22</b>	Rango de datos reales de las variables objeto de estudio .....	122
<b>Tabla 23</b>	Valores representativos de la variable “Riqueza” .....	123
<b>Tabla 24</b>	Estadísticas descriptivas de la variable “Riqueza” .....	124
<b>Tabla 25</b>	Rango calibrado de inversión anual para simulación .....	125
<b>Tabla 26</b>	Estadísticas descriptivas de la variable “Número de proyectos” .....	126
<b>Tabla 27</b>	Rango calibrado del número de proyectos para simulación .....	127
<b>Tabla 28</b>	Valor promedio representativo de la variable TRL -Umbral .....	128
<b>Tabla 29</b>	Estadísticas descriptivas de la variable “TRL Umbral” .....	129
<b>Tabla 30</b>	Rango calibrado del TRL Umbral para simulación .....	129
<b>Tabla 31</b>	Tabulación de la encuesta de validación del modelo .....	133
<b>Tabla 32</b>	Resumen de la estructura de los experimentos .....	135
<b>Tabla 33</b>	Resultados ANOVA factorial – Experimento 1 .....	137
<b>Tabla 34</b>	Índices de Morris – Experimento 1 .....	137
<b>Tabla 35</b>	Resultados ANOVA factorial – Experimento 2 .....	140
<b>Tabla 36</b>	Índices de Morris – Experimento 2 .....	141

### Lista de figuras

<b>Figura 1</b> Modelo conceptual: Radiodifusión de transferencia de tecnología .....	27
<b>Figura 2</b> Modelos de la Triple Hélice .....	30
<b>Figura 3</b> Modelo de transferencia de conocimiento científico – tecnológico .....	36
<b>Figura 4</b> Modelo de TT de redes para universidades .....	37
<b>Figura 5</b> Paradigmas de la modelación y simulación según la escala de abstracción.....	43
<b>Figura 6</b> Fases del Marco Metodológico propuesto .....	48
<b>Figura 7</b> Versión simplificada del proceso de desarrollo de modelos .....	58
<b>Figura 8</b> Diagrama de bloques.....	62
<b>Figura 9</b> Formación y área de especialización equipos de trabajo TT.....	76
<b>Figura 10</b> Mecanismos utilizados por la Universidades para realizar transferencia tecnológica .....	80
<b>Figura 11</b> Gráfico de sedimentación para la familia 1: Región, Grupos de Investigación y Número Proyectos.....	96
<b>Figura 12</b> Gráfico de sedimentación para la familia 2: Grupos de Investigación, proyectos e inversión ...	97
<b>Figura 13</b> Gráfico de sedimentación para la familia 2: Grupos de Investigación, proyectos e inversión ...	99
<b>Figura 14</b> Diagrama de Clases .....	107
<b>Figura 15</b> Diagrama de agentes.....	108
<b>Figura 16</b> Diagrama de Flujo .....	109
<b>Figura 17</b> Visualización del mundo en NetLogo – TT Universitaria.....	120
<b>Figura 18</b> Distribución LHS – Variable Riqueza.....	124
<b>Figura 19</b> Distribución LHS – Número de proyectos .....	127
<b>Figura 20</b> Análisis de sensibilidad de Morris – Variables “número-proyectos-universidad”, “TRL Umbral” y “riqueza-universidad” .....	131
<b>Figura 21</b> Diagrama de dispersión del análisis de sensibilidad de Morris para el experimento 1 .....	138
<b>Figura 22</b> Diagrama de dispersión del análisis de sensibilidad de Morris.....	141

**Siglas, acrónimos y abreviaturas**

<b>TT</b>	Transferencia Tecnológica
<b>SRI</b>	Sistemas Regionales de Innovación
<b>MBA</b>	Simulación Basada en Agentes
<b>TRL</b>	Technology Readiness Level
<b>PI</b>	Propiedad Intelectual
<b>IVC</b>	Índice de validación de contenido
<b>PCA</b>	Análisis de componentes principales
<b>DS</b>	Dinámica de Sistemas
<b>SD</b>	Sistemas dinámicos
<b>ED</b>	Simulación de Eventos Discretos

## Resumen

La tesis analiza los procesos de transferencia tecnológica (TT) universitaria en su relación con el sector empresarial en casos de universidades colombianas. Los objetivos de la investigación se concentran en analizar estas dinámicas, caracterizando las condiciones que configuran estas interacciones, desarrollando un modelo de simulación basada en agentes que permita analizar su comportamiento e identificando políticas y estrategias orientadas a su fortalecimiento.

La investigación se desarrolló bajo un enfoque mixto, descriptivo y explicativo, que combinó métodos cuantitativos y cualitativos. Se realizó una revisión sistemática de literatura y un juicio de expertos para validar el modelo y definir las variables del estudio. Posteriormente, se implementó un modelo de simulación basada en agentes (MBA) en NetLogo®, que representó las interacciones entre universidades, empresas y proyectos mediante variables de entrada como la riqueza institucional, el nivel de madurez tecnológica (TRL) y el número de proyectos, permitiendo analizar escenarios y proponer políticas y estrategias.

Los resultados muestran que la TT universitaria es un proceso complejo y multifactorial, determinado por las capacidades institucionales, la articulación con el sector empresarial y las características de los proyectos. Las universidades con mayor número de grupos de investigación, inversión en I+D, proyectos con  $TRL \geq 7$  y mecanismos internos de apoyo a la innovación presentan un mejor desempeño, aunque existen diferencias significativas según el contexto institucional y regional. El análisis de sensibilidad mostró que la combinación equilibrada de TRL umbral, el número de proyectos y la riqueza institucional potencia la transferencia, mientras que la riqueza aislada no garantiza resultados sin capacidad de absorción y gestión relacional con el sector productivo.

El estudio propone tres escenarios estratégicos: las universidades con alta capacidad y amplio portafolio de proyectos logran mayores niveles de madurez tecnológica; la colaboración temprana universidad–empresa mejora la efectividad de la TT; y en contextos de recursos limitados, la planificación y priorización de proyectos estratégicos compensan restricciones. En cuanto a sus contribuciones la investigación, destaca en tres dimensiones: metodológica, al demostrar la utilidad de la modelación basada en agentes para analizar dinámicas complejas; empírica, al aportar evidencia cuantitativa sobre los factores determinantes del éxito en la TT; y teórica, al ampliar modelos previos incorporando un enfoque dinámico y experimental que vincula la simulación con políticas y estrategias concretas.

*Palabras clave:* transferencia tecnológica, empresas, universidades, modelación basada en agentes

### Abstract

The thesis analyzes university technology transfer (TT) processes in relation to the business sector in cases involving Colombian universities. The research objectives focus on analyzing these dynamics, characterizing the conditions that shape these interactions, developing an agent-based simulation model to analyze their behavior, and identifying policies and strategies aimed at strengthening them.

The research was conducted using a mixed, descriptive, and explanatory approach that combined quantitative and qualitative methods. A systematic literature review and expert judgment were conducted to validate the model and define the study variables. Subsequently, an agent-based simulation (ABS) model was implemented in NetLogo®, which represented the interactions between universities, companies, and projects using input variables such as institutional wealth, technology readiness level (TRL), and number of projects, allowing for the analysis of scenarios and the proposal of policies and strategies.

The results show that university TT is a complex and multifactorial process, determined by institutional capacities, articulation with the business sector, and project characteristics. Universities with a greater number of research groups, investment in R&D, projects with  $TRL \geq 7$ , and internal mechanisms to support innovation perform better, although there are significant differences depending on the institutional and regional context. The sensitivity analysis showed that a balanced combination of TRL threshold, number of projects, and institutional wealth enhances transfer, while wealth alone does not guarantee results without absorption capacity and relational management with the productive sector.

The study proposes three strategic scenarios: universities with high capacity and a broad project portfolio achieve higher levels of technological maturity; early university-business collaboration improves the effectiveness of TT; and in contexts of limited resources, planning and prioritization of strategic projects compensate for constraints. In terms of its contributions, the research stands out in three dimensions: methodological, by demonstrating the usefulness of agent-based modeling for analyzing complex dynamics; empirical, by providing quantitative evidence on the determinants of success in TT; and theoretical, by expanding previous models by incorporating a dynamic and experimental approach that links simulation with concrete policies and strategies.

Keywords: technology transfer, companies, universities, agent-based modeling

## Introducción

La TT universitaria se ha venido consolidando como un pilar estratégico en el fortalecimiento de la innovación y la competitividad no solo de las universidades sino también de su entorno competitivo. De esta manera las universidades deben ir más allá de su función formativa, aportan desde un enfoque más protagónico a la generación, difusión y apropiación de conocimiento aplicado que genere valor a su entorno, a través de procesos de TT efectivos al sector empresarial aportando de esta manera al desarrollo económico y social. No obstante, esta función enfrenta múltiples desafíos cuando se analizan las condiciones institucionales, capacidades internas, dinámicas de interacción entre actores del sistema como lo son las empresas.

Lo anterior define un reto para que las universidades mejoren sus procesos de TT, e incrementen sus capacidades en la generación de investigación pertinente con el entorno, gestión de la innovación, propiedad intelectual, vigilancia estratégica e inteligencia competitiva y valoración y comercialización tecnológica. En el contexto colombiano, diversas universidades aún no disponen de modelo que permitan comprender la complejidad de las relaciones entre los actores de los sistemas de innovación, principalmente la relación universidad-empresa, situación que se ve agravada por la limitada disponibilidad de datos sobre el desempeño de los procesos de TT y de innovación en el país (DANE, 2022; OCyT, 2021). Esta limitación contrasta con los avances observados en entornos internacionales donde la medición y modelación de la TT se apoyan en marcos de referencia estandarizados y en reportes periódicos de desempeño, como los promovidos por la OCDE y las Association of University Technology Managers (OECD, 2014; AUTM, 2023). Por consiguiente, se hace necesario contar con herramientas analíticas que integren enfoques cuantitativos y cualitativos, capaces de representar las interacciones entre actores y los proyectos a través de la experimentación y simulación, para apoyar la toma de decisiones estratégicas en las universidades.

A partir de este panorama, la presente investigación tiene como propósito analizar los procesos de TT en casos de universidades colombianas, desde una mirada en cuanto a su relación con las empresas, esto con el fin de proponer políticas y estrategias enfocadas a fortalecer los modelos instituciones de TT. Para esto, se propuso la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuáles son las dinámicas de relación entre las universidades y las empresas en el marco de los modelos de transferencia tecnológica universitaria orientados a la definición de políticas y estrategias para su fortalecimiento?

La hipótesis de la investigación sostiene que Las dinámicas de relación entre universidades y empresas, en el marco de los modelos de transferencia universitaria, influyen en el fortalecimiento de

estos procesos y orientan la definición de políticas y estrategias para su consolidación. En efecto se reconoce que el comportamiento del sistema no es lineal, sino emergente, por lo que requiere ser abordado desde un enfoque sistémico que considere tantos los factores en términos de capacidades por parte de las universidades como su relacionamiento con los agentes industriales.

En síntesis, esta investigación contribuye aportando elementos conceptuales, teóricos y metodológicos, para mejorar el entendimiento en la dinámica de relación entre las universidades y las empresas, utilizando para esto un diseño metodológico mixto que combina análisis empírico con modelos de simulación basado en agentes. De esta forma se espera aportar lineamientos útiles en la formulación de políticas diferenciadas, que reconozcan la importancia de la TT y las condiciones particulares de las capacidades de las universidades para su gestión y mejora.

## 1 Capítulo 1. Planteamiento del problema, pregunta, hipótesis, objetivos y estructura de la tesis

### 1.1 Problema de investigación

Es de interés estudiar la dinámica de relación de las universidades a través de sus modelos de Transferencia Tecnológica (TT) y el sector empresarial, incorporando las particularidades de las regiones, condiciones propias de su entorno e incluso su ubicación geográfica (Goldstein & Glaser, 2012; Audretsch et al., 2012). Esta dinámica no solo se circunscribe al enfoque formal del proceso de TT ligado a la firma de acuerdos o contratos de explotación de la tecnología, sino también desde la construcción de redes sociales entre los actores e instituciones del sistema, bajo la comprensión de dinámicas propias de comunicación e interacción entre agentes (Everett M., 2002), las condiciones y naturaleza de las decisiones que se tomen en el proceso, además de los niveles de incertidumbre e impresión en las negociaciones (Dinmohammadi & Shafiee, 2017).

Es así como las empresas, universidades y gobierno, tanto local como nacional, buscan de manera constante generar estrategias que fortalezcan su trabajo en red (Etzkowitz et al., 2000) en perspectiva de mejora de los procesos de transferencia tecnológica e innovación (Lambooy, 2004). Singh (2021), menciona que las universidades que no presentan una dinámica de crecimiento igual o superior al sector empresarial limitan sus capacidades e incluso el nivel de crecimiento de la economía local y por ende la competitividad de la región. Necochea-Mondragón et al. (2013) establecen que los procesos de transferencia universitaria deben guardar coherencia con las condiciones propias de las regiones de influencia, teniendo en cuenta las particularidades de las universidades y las empresas que los conforman.

La situación problema se sustenta entonces en la relevancia que tienen las universidades en el crecimiento y desarrollo de las economías de influencia directa (Singh, 2021), señalándose dificultades por parte de los entes universitarios para la generación de conocimiento pertinente a su entorno como ventaja estratégica a nivel empresarial, regional y estatal (Heisey & Adelman, 2011). Al respecto los indicadores de ciencia, tecnología e innovación para el caso colombiano, arrojan bajas tasas de registros de propiedad intelectual, con especificidad del concerniente a la propiedad industrial (patentes, diseños industriales, trazados, entre otros); necesidad y pertinencia del desarrollo de derechos de autor (artículos científicos, libros, programas académicos, entre otros), además de un disminuido índice de colaboración entre las universidades y la industria para la transferencia de este conocimiento (DNP, 2021; DNP, 2020; Universidad Icesi et al., 2023; MinCiencias, 2020). Sin embargo, no solo la generación de nuevo conocimiento por parte de las universidades genera ventajas, es necesario fortalecer las capacidades y

eficiencia en los procesos de transferencia y las condiciones de absorción de dicho conocimiento por parte de las empresas (Feria & Hidalgo, 2011; Jarohnovich & Avotiņš, 2009).

El desconocimiento de las dinámicas de relación y desempeño entre las universidades y empresas, además de estudios insuficientes sobre modelos de simulación que analicen sus dinámicas con los procesos de innovación (Robledo & Ceballos, 2008), limita la comprensión de patrones de comportamiento regionales y dificulta la definición de políticas y estrategias que fortalezcan los procesos de TT e innovación.

De allí que la presente investigación se dirija a analizar las dinámicas de relación entre las universidades y empresas, caracterizando las condiciones que configuran dicha relación en el marco de los procesos de TT, el desarrollo de un modelo de simulación basado en agentes que posibilite analizar el comportamiento de los agentes y sus procesos y a partir de los resultados obtenidos, identificar políticas y estrategias que contribuyan al fortalecimiento institucional y al mejoramiento de los procesos de TT en las universidades.

## **1.2 Justificación**

La TT representa un mecanismo clave para movilizar el conocimiento generado en las universidades alrededor de tecnologías emergentes que puedan generar valor económico y social en la sociedad y en las empresas, aportando de esta manera a la solución de problemas en entornos regionales, nacionales e internacionales. En países como Colombia, donde se evidencian brechas significativas entre el sistema científico y tecnológico y el sector empresarial, la TT se convierte en un dinamizador estratégico para impulsar la competitividad y la innovación, dinamizando los entornos regionales y avanzando en la construcción de políticas y estrategias sostenibles.

Sin embargo, se evidencia que los procesos de TT en las universidades presentan limitaciones estructurales, entre las cuales se destacan las debilidades entorno al relacionamiento con el sector empresarial, la baja capacidad para explotar los resultados de investigación y la débil institucionalización de prácticas eficientes de transferencia. Esta situación compromete no solo el aprovechamiento de las capacidades instaladas en las universidades, sino también la efectividad de los sistemas de innovación, cuyo éxito depende de una activa y efectiva interacción con entre las universidades, empresas, gobierno y sociedad civil organizada.

Frente a estas condiciones, la presente investigación cobra importancia dado que propone una mejor comprensión sistémica y contextualizada del desempeño de la TT universitaria. A través de un

enfoque metodológico que combina el uso de simulación basada en agentes, con análisis de datos de manera estadística, reconociendo de esta manera los diferentes escenarios que, desde la experimentación computacional, soportan la definición de políticas y estrategias para el mejoramiento de los procesos de TT.

De manera complementaria, este trabajo no solo pretende aportar a la literatura académica sobre TT universitaria y su relación con el sector empresarial, sino también generar herramientas útiles para la toma de decisiones en las universidades e incluso en la definición de políticas públicas que ayuden a las regiones. Se reconoce entonces que fortalecer las capacidades institucionales de las universidades para transferir tecnología no es un fin en sí mismo, sino un medio para contribuir al bienestar colectivo y el desarrollo sostenible de las regiones.

### **1.3 Pregunta de investigación**

¿Cuáles son las dinámicas de relación entre las universidades y las empresas en el marco de los modelos de transferencia tecnológica universitaria orientados a la definición de políticas y estrategias para su fortalecimiento?

### **1.4 Hipótesis**

Las dinámicas de relación entre universidades y empresas, en el marco de los modelos de transferencia universitaria, influyen en el fortalecimiento de estos procesos y orientan la definición de políticas y estrategias para su consolidación.

### **1.5 Objetivos**

#### ***1.5.1 Objetivo General***

Analizar las dinámicas de relación entre las universidades y las empresas en el marco de los modelos de transferencia tecnológica universitaria, orientados a la definición de políticas y estrategias para su fortalecimiento.

### ***1.5.2 Objetivos Específicos***

- Caracterizar las condiciones que configuran la relación entre las universidades y las empresas en los procesos de transferencia tecnológica universitaria.
- Desarrollar un modelo de simulación basado en agentes que permita analizar las dinámicas de los modelos de transferencia tecnológica universidad-empresa.
- Identificar políticas y estrategias que fortalezcan los modelos de transferencia tecnológica universitaria a partir de los resultados del modelo de simulación.

## 2 Capítulo 2. Marco teórico y estado del arte

### 2.1 Marco teórico

A continuación, se presentan los referentes teóricos más importantes de la investigación, teniendo en cuenta el enfoque de los procesos de transferencia tecnológica (TT) de las universidades y su relación con el sector empresarial.

#### 2.1.1 *Transferencia Tecnológica*

La TT se entiende como el proceso que involucra el saber hacer (Know-how) entre diferentes actores (individuos, empresas o instituciones), los cuales buscan fortalecer su conocimiento alrededor de nuevas técnicas y habilidades para el desarrollo de un producto o servicio con el objetivo de mejorar su posición competitiva en el entorno (Abramson et al., 1997). Estos procesos contribuyen a la generación de conocimiento y su empaquetamiento, de forma tal que pueda ser trasladado y correctamente adaptado por agentes de acuerdo con sus capacidades de absorción (Orjuela & Quintero, 2019) y en perspectiva de generación de valor y crecimiento económico (Bozeman, 2000).

Los agentes movilizados del proceso de TT pretenden la generación de ganancias directas mediante acuerdos comerciales (Pere & Pasola, 2004) operados mediante mecanismos de venta directa, concesiones, licenciamientos u otras figuras afines con la búsqueda de lucro directo. Sin embargo, la transferencia se concibe como un proceso con o sin ánimo de lucro; este último direccionado a la movilización de saberes con beneficio social, adscritos a la evaluación de la cultura y apropiación social de conocimiento, contribuyendo así a la calidad de vida del ser humano. Razón por la cual se ha establecido que la conceptualización e interpretación de este proceso, depende de la disciplina que la aplique (Zhao & Reisman, 1992).

Si bien los procesos de TT encuentran complejidades en su desarrollo, partiendo de las particularidades de las disciplinas en donde se apliquen, algunos autores como Everett M. (2002), plantean que la génesis de esta complejidad se concentra en las estructuras de la comunicación entre los agentes que intervienen en el proceso, y para mejorar esto es necesario superar algunas barreras, como la diferencia en el vocabulario utilizado por los actores el cual nace de las condiciones culturales propias de sus organizaciones, el proceso de identificación, selección y aplicación de estrategias, lo cual según Dinmohammadi y Shafiee (2017), se produce por la presencia de numerosos agentes tomadores de

decisiones, la naturaleza cualitativa del proceso de evaluación y por un alto nivel de incertidumbre e imprecisión en la toma de decisiones.

En los procesos de TT, los actores involucrados procuran de manera constante lograr que los resultados de la investigación lleguen a un receptor externo de manera funcional y pertinente (Bozeman, 2000; Siegel et al., 2003). Este enfoque implica atender factores que puedan facilitar o dificultar la transferencia, como la percepción del valor y aplicabilidad de la tecnología, las condiciones de interacción y comunicación entre las partes, la distancia cultural y geográfica, las diferencias en capacidades tecnológicas y la motivación de los actores para participar activamente (Gibson & Smilor, 1991; Rogers, 2003). La búsqueda de este propósito está orientada a minimizar las barreras derivadas de la heterogeneidad de intereses y perspectivas, favoreciendo así procesos de transferencias más consistentes y alienados con las necesidades del entorno empresarial.

Para resolver los problemas presentados en el proceso de TT, el importador de la tecnología debe decidir la mejor estrategia desde las capacidades de su organización, teniendo en cuenta aspectos como inversión requerida, confiabilidad de la tecnología, relaciones políticas entre organizaciones, facilidad de uso, condiciones de su equipo de trabajo, entre otras. Buscando de esta manera alternativas estratégicas como ingeniería inversa, licencias extranjeras, negociación llave en mano u otras alternativas que faciliten la adquisición y adaptación tecnológica por parte del receptor (Dinmohammadi & Shafiee, 2017). En la Tabla 1, se muestran los diferentes modelos de TT, teniendo en cuenta su enfoque.

**Tabla 1**

*Modelos de TT según su enfoque*

Enfoque	Descripción	Perspectiva	Autores
Modelo lineal (Genérico)	Parte de las capacidades e intereses de los investigadores y establece un proceso secuencial de transferencia de la tecnología.	Desde la oferta a la demanda	(Siegel et al., 2004)
Modelo de Gibson y Slimon	Se concentra en tres niveles de desarrollo de la Transferencia, el primero	Desde la oferta a la demanda (incluye los procesos de	(Gibson & Smilor, 1991)

Enfoque	Descripción	Perspectiva	Autores
	identifica la aplicación de la tecnología desde las capacidades, el segundo comprende los niveles de aceptación y el tercero el desarrollo y comercialización.	planeación y vinculación de los usuarios de la tecnología)	
Modelo de Sung y Gibson	Describe cuatro niveles; 1. La creación de conocimiento y tecnología, 2. Intercambio y apropiación de conocimiento y tecnología, 3. Implementación del conocimiento, 4. Identificación de los éxitos logrados en el cumplimiento de los objetivos.	Desde la oferta a la demanda (involucra la creación, intercambio y apropiación, implementación y éxitos de Transferencia de conocimiento)	(Dubickis & Gaile-Sarkane, 2015)
Modelo de empuje de la tecnología (Technology Push)	El modelo propone de manera secuencial como a partir del conocimiento científico se puede transferir tecnología al mercado.	Introducción de la tecnología desde la oferta y capacidades tecnológicas al mercado	(Rothwell, 1994)
Modelo de tirón de la demanda (Market Pull)	El mercado se consolida como el principal generador de ideas para el desarrollo de la tecnología	Proceso de transferencia desde las necesidades de la demanda,	(Rothwell, 1994)

Enfoque	Descripción	Perspectiva	Autores
	y los procesos de innovación.	conservando la estructura lineal.	
Modelo de Rebenish y Ferreti	Este método comprende 4 etapas: 1. Necesidades en términos de información y tecnología, 2. Métodos en el proceso de Transferencia, 3. Arquitectura (herramientas) para la apropiación de la tecnología y 4. Capacidades de adaptación de la tecnología por la empresa.	Desde las capacidades de la empresa para identificar las necesidades del mercado y a partir de esto desarrollar procesos de innovación.	(Rebenish & Ferretti, 1995)
Modelo Dinámico	Reformula el modelo lineal, teniendo en cuenta factores internos en los procesos de transferencia, tales como redes, barreras, cultura, entre otros.	Lineal con bucles de retroalimentación, partiendo desde la oferta.	(Siegel et al., 2004)
Modelo de Argyris y Schön	El modelo propone las condiciones de aprendizaje organizacional frente a cambios internos y externos a través de bucles de retroalimentación, simples y dobles.	Generación de conocimiento a través de bucles: simple, doble y aprendizaje secundario.	(Argyris, 1976) (Argyris & Schön, 1997)
Modelo de Nevis, DiBella y Gould	Las organizaciones son sistemas de aprendizaje. (Descriptivo basado en la	Modelo de tres enfoques: 1. Adquisición,	(Gould, 2000)

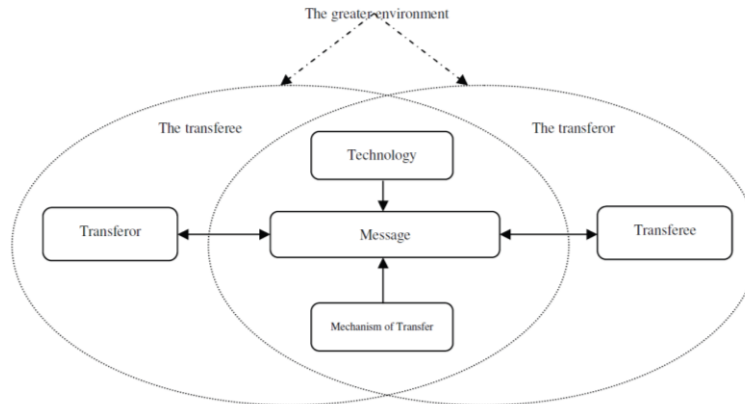
Enfoque	Descripción	Perspectiva	Autores
	cultura y experiencia y normativo basado en la mejores prácticas y procesos comunes).	intercambio y utilización del conocimiento.	
Modelo de "Catch Up"	Este modelo se concentra en un proceso de aprendizaje dinámico, el cual consiste en observar, aprender y mejorar la tecnología.	Imitación y captación de tecnología.	(Kim, 2001)
Modelos de triple hélice (I, II, III)	Modelo que estudia la relación entre las universidades (generadoras de conocimiento), la industria (enfoque productivo) y el gobierno (financiador y regulador del sistema)	Relación entre agentes (Universidad, industria, gobierno)	(Etzkowitz & Leydesdorff, 1997)
Triángulo de Sábado	El modelo centra su foco en la importancia del Estado como generador y dinamizador de políticas alrededor de la ciencia y tecnología.	Relación entre agentes (Estado, infraestructura científico-tecnológica y sector productivo)	(Sábado & Botana, 1970)

El proceso de transferencia tecnológica implica el análisis de la relación entre la fuente o propietario del conocimiento y el receptor o beneficiario en la adquisición y adaptación de la tecnología. Esto se hace con el fin de minimizar la incompatibilidad de objetivos entre los agentes. Khabiria (2012) propone un modelo que permite mejorar la eficiencia en el proceso de transferencia. Este modelo se basa

en el análisis de la factibilidad de la transferencia, buscando mecanismos útiles que puedan traer un mayor beneficio para el receptor de la tecnología.

### Figura 1

#### Modelo conceptual: Radiodifusión de transferencia de tecnología



Nota. Khabiri et al., (2012).

El modelo propuesto por Khabiri et al., (2012) (Figura 1), identifica la relación directa entre la fuente de conocimiento (cedente) y el receptor de la tecnología (cesionario), teniendo en cuenta la comunicación, las características de la tecnología, el entorno mayor en los cuales interactúan los agentes y los mecanismos de transferencia. Los mecanismos de transferencia son los que concentran el mayor nivel de eficiencia del proceso.

El intercambio constante e interactivo de comunicación entre los actores involucrados en el modelo de Khabiri et al., (2012), permite construir un nivel alto de reciprocidad en el manejo de ideas, tecnología y conocimiento entre las partes (Gibson & Smilor, 1991). De esta forma, la cooperación entre los actores mejora de manera significativa, en la medida que aumenta la complejidad de la tecnología (Chen, 1995). Esto se da por la necesidad de mantener y fortalecer la comunicación entre las partes con el fin de lograr una adecuada adaptación tecnológica por parte del cesionario. Esta comunicación, ya sea desde un enfoque persona a persona, grupo a grupo o empresa a empresa, logra la generación de redes que fomentan la efectividad del proceso de transferencia (Everett M., 2002)

Madu (1990) analiza las fallas que se presentan en los procesos de transferencia de tecnología, identificando los fracasos en tres dimensiones: estructura, tecnología y comportamiento. Estas dimensiones se utilizaron para comprender y explicar de una mejor manera los procesos de transferencia

de tecnología, logrando de esta forma la generación de estrategias para fortalecer la eficiencia en el proceso.

Las alianzas estratégicas en el marco de los procesos de transferencia aumentan las probabilidades de mejorar el desempeño, fortaleciendo las asimetrías entre la intención estratégica de la explotación y la exploración de los socios, antes, durante y después del proceso. Sin embargo, las asimetrías no se consideran un fracaso, pero si se deben identificar y gestionar de manera estratégica (Koza & Lewin, 2000)

El estudio de los procesos de TT y la relación de los agentes involucrados permite identificar las condiciones de eficiencia de estos y el desarrollo de estrategias para su fortalecimiento, buscando mejorar la ventaja competitiva de las empresas receptores de tecnología a través del aumento en el número de desarrollos de productos y bienes industriales de alta tecnología, condición crucial para el crecimiento de las organizaciones (Dinmohammadi & Shafiee, 2017).

## **2.2 Estado del arte**

### ***2.2.1 Transferencia tecnológica universitaria***

Las universidades han tenido una relación estrecha con su entorno desde su génesis, principalmente en la conservación y transferencia de conocimiento teórico a través de los procesos de formación de talento humano. Sin embargo, no fue sino hasta inicios de los años 80, en plena posguerra y guerra fría entre Estados Unidos y la Unión Soviética, que surgió la universidad empresarial. Este nuevo modelo desplaza la universidad subvencionada por el estado, para el desarrollo de investigaciones alrededor del sector militar y da surgimiento a la relación estrecha entre la universidad y la industria en la búsqueda de desarrollo económico, enfocada en mejorar la productividad y competitividad empresarial.

Este nuevo escenario trajo consigo múltiples detractores, que vieron en este enfoque la mercantilización del conocimiento generado en las universidades (Altbach, 2002). Por ejemplo, en Uruguay se critica a la “universidad consultora”, en donde se ve como tendencia la realización de actividades rutinarias que den dinero, en contraposición a los procesos de investigación y trabajo social relevante en el entorno. En Colombia, las demandas del mercado han afectado de manera negativa en algunos casos la generación de conocimiento como función universitaria (Arocena & Sutz, 2005). Esto podría deslegitimar el concepto de universidad formadora y generadora de conocimiento pertinente y no por demanda del sector empresarial, autores como Beath et al. (2003), mencionan que las universidades no deberían abandonar la investigación básica y que el gobierno debería subsidiarla. Sin embargo, el

gobierno norteamericano incentivó la TT con enfoque comercial desde las universidades con leyes como la de “Bayh-Dole”, que tenía como objetivo lograr la titularidad de la propiedad intelectual para las universidades, aunque los procesos de investigación fueran subvencionados por el estado (Etzkowitz et al., 2000), esto fortaleció los procesos de relación universidad, estado e industria y dio inicio al proceso de desarrollo de la universidad empresarial, dando paso a principios de los noventa a una transición en los sistemas de investigación, marcando una tendencia principalmente en los países desarrollados en el rumbo de estrategias de supervivencia académica, soportada en la financiación externa de las universidades, bajo la premisa de no solo investigar para publicar, sino para aplicar (Arocena et al., 2015).

Por otra parte, autores como Alemán (2005), plantea que las universidades que dependen en mayor medida de recursos financieros, humanos o materiales otorgados por el estado, están inmersas en procesos isomórficos miméticos o coercitivos, debido a la capacidad de influencia del estado en el proceso de planeación educativa, en este caso la autora analiza las particularidades de las universidades públicas y privadas en México, identificando los criterios de evaluación de calidad y destacando los límites en cuanto a la influencia del gobierno mexicano en la planeación educativa.

Se entiende entonces que las universidades son organizaciones singulares, que poseen una relativa autonomía en cuanto a la generación de conocimiento y se conciben como organizaciones “Suaves”, distintitas en términos de planeación y ejecución de las empresas, siendo estas consideradas “Duras”, dado que tienen como foco principal la producción y comercialización de productos (Hirsch, 1990). Para Clark (1986), la educación superior tiene una naturaleza esencialmente organizacional y su legitimidad se centra en la generación y organización del conocimiento, logrando de esta manera una singularidad en la diversidad de formas de trabajo, como en sistemas de creencias y formas de construcción de autoridad.

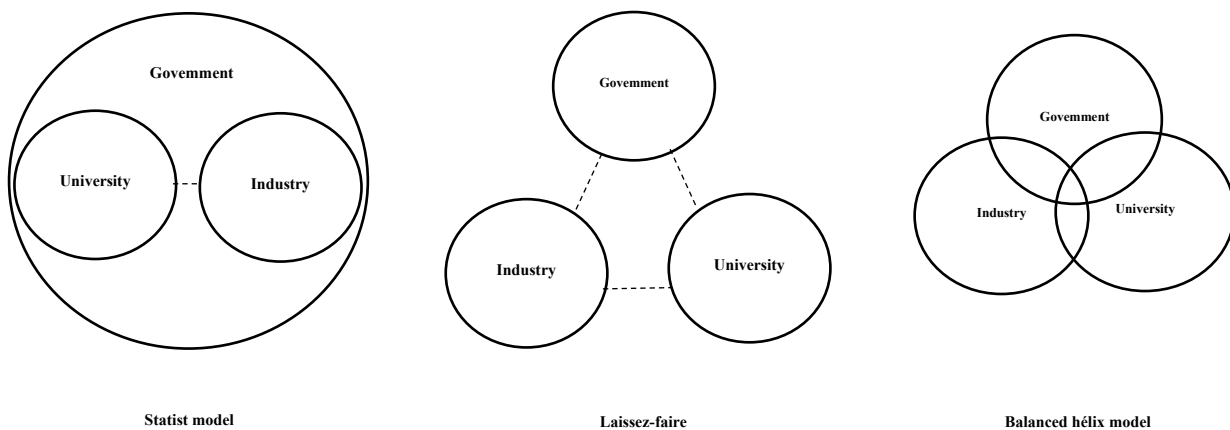
En el caso de América Latina, las universidades se establecieron en el siglo XVI, iniciando con un marcado enfoque colonial (Bernasconi, 2008) direccionado en procesos de formación sin involucrarse de lleno en los problemas sociales de su entorno, no fue sino hasta 1918 en la antigua Universidad de Córdoba en Argentina que comienza a gestarse un Movimiento de Reforma Universitaria que tenía como objetivo la democratización de las universidades, ligado a la ampliación de la matrícula, el libre acceso, la promoción de la investigación científica y la extensión, en concordancia con las necesidades del entorno y la necesidad de aportar al desarrollo nacional (Arocena & Sutz, 2005), esta revolución se vio principalmente en las universidades públicas, sin embargo con el pasar de los años y teniendo en cuenta el aumento en el número de instituciones públicas y privadas, estos cambios comenzaron a permear a todo tipo de universidades principalmente las de enfoque religioso (Brunner, 1990; Bernheim, 1998).

Esta nueva estructura promovió de manera constante “la extensión universitaria”, sin embargo en América Latina las instituciones de educación superior seguían teniendo problemas con la relación con su entorno, dado su enfoque marcado en formación e investigación, solo hasta la década de 1980 cuando se dieron los cambios más representativos en las universidades, relacionados directamente con la economía mundial y el crecimiento significativo en el número de ellas, se desencadenó una heterogeneidad en la educación superior latinoamericana, con un aumento en la investigación en las universidades públicas y un fortalecimiento en las relaciones externas con relación al servicio público, relaciones que no necesariamente estaban enfocadas en condiciones financieras de lucro (Arocena & Sutz, 2005).

La relación entonces entre universidad y su entorno, trajo consigo el desarrollo de estudios, que pretendían analizar y definir modelos que permitieran maximizar la eficiencia en la generación de proyectos de innovación conjunta, teorías como la triple hélice propuesta originalmente por Etzkowitz y Leydesdorff (1995), la cual explora los diferentes tipos de interacción entre la universidad, la industria y el gobierno, han estudiado la evolución entorno a su relación, pasando del modelo centrado en el liderazgo del gobierno “modelo estatista”, a un modelo de relación distanciada entre actores, pero con una relación tímida “modelo de Laissez-faire” finalizando con un modelo de relación directa y convergente “modelo equilibrado” Figura 2, (Cai & Etzkowitz, 2020).

**Figura 2**

*Modelos de la Triple Hélice*



Nota. Cai & Etzkowitz, 2020. Theorizing the Triple Helix model: Past, present, and future (p. 12) por. Triple Helix Journal.

En el contexto de la relación entre universidad, industria y gobierno, la interacción entre la universidad y la empresa adquiere mayor relevancia. Esta interacción da lugar al concepto de transferencia

de tecnología (TT), que se entiende como el proceso mediante el cual la industria accede al uso y explotación comercial de avances tecnológicos desarrollados por investigadores, principalmente provenientes de universidades. Este proceso está compuesto de actividades que van desde el proceso investigativo, desarrollo, prototipado, apropiación e innovación. De esta manera, la TT se convierte en un nexo entre la universidad y la empresa, buscando con esto la generación de desarrollo científico y tecnológico, la aplicación real y la comercialización de dicho conocimiento (Mejía et al., 2006).

De esta forma, las universidades comenzaron a buscar modelos TT que les permitieran mejorar el desempeño de sus actividades de formación, investigación y extensión. Por otra parte, las empresas iniciaron un camino para desarrollar actividades que les permitieran mejorar su posición estratégica en el mercado, a través del uso eficiente de sus recursos, capacidades y definición de su estrategia empresarial (Grant, 1991). De esta manera, la gestión para la apropiación de conocimiento generado por las universidades, o en algunos casos en conjunto, se volvió un factor relevante de desarrollo innovador y competitivo para la empresa.

Teniendo en cuenta la revisión del estado del arte, se encontraron diferentes estudios que analizan la TT desde un enfoque teórico y de aplicación. Sin embargo, los más relevantes que hacen un énfasis en los modelos de transferencia universitaria son pocos. Entre ellos se encuentran la tesis doctoral de Henríquez (2009), desarrollada en la Universidad Politècnica de Valencia y centrada en el contexto de la comunidad Valenciana en España, que estudia las relaciones universidad-empresa y su efecto sobre la segunda misión universitaria. Esta investigación permitió determinar que las actividades de relación universidad-empresa, orientadas a la generación de producción científica, no tienen efectos sinérgicos con la investigación académica tradicional. Esto da cuenta de una posible desviación de los investigadores en cuanto al manejo de recursos y capacidades de las universidades hacia una demanda de orden puntual empresarial, disminuyendo en algunos casos la producción científica del investigador. Entre las recomendaciones del estudio se presentan realizar investigaciones que permitan identificar los determinantes de las relaciones universidad-empresa y llevar a cabo un análisis similar en contextos geográficos y socioeconómicos diferentes.

Otras investigaciones, como la de Arza y López (2011), muestran los vínculos de las empresas con los organismos públicos de investigación en Argentina. Entre las conclusiones del estudio se encontró que las bases de conocimiento de las empresas no eran un factor impulsor de la vinculación con las instituciones de investigación. Sin embargo, las capacidades de creación de redes son importantes, pero se evidencia un efecto de sustitución entre interactuar con organismos de investigación pública y otros agentes económicos del mercado cuando se involucra el intercambio de información y no necesariamente

investigación. De igual forma, el estudio muestra que las empresas que tienen vínculos con los organismos de investigación son más propensas a invertir en actividades de innovación, tecnología incorporada y a patentar. Además, la cercanía geográfica representa un factor importante en la relación empresa-organismos, teniendo en cuenta las necesidades y características en términos de capacidades de ambas. Todo esto con la claridad de que el comportamiento de los organismos de investigación pública, incluidas las universidades y las empresas, difiere en algunos aspectos cuando pertenecen a países desarrollados o en vías de desarrollo, como es el caso de Argentina.

Otra de las investigaciones en América Latina que analiza la proximidad geográfica y la capacidad de absorción en el proceso de interacción entre las universidades y la industria es la realizada por De Fuentes y Dutrénit (2016) en México. Entre los hallazgos de la investigación, se muestra que la relación entre la industria y las universidades que no son locales involucra en la mayoría de los casos conocimiento codificado, mientras que, en el caso de las universidades locales, el conocimiento es más tácito. En cuanto a la capacidad para la generación de redes, existe mayor propensión por parte de las empresas con alta capacidad de absorción de trabajar con universidades locales. La investigación también concluye que la mayoría de las empresas con inversión extranjera no tienden a trabajar con universidades tan activamente como las empresas con inversión nacional, esto posiblemente por su posibilidad de acceso a tecnología extranjera. Los resultados también muestran que las empresas con recursos humanos altamente calificados en I+D son más propensas a trabajar con universidades no locales. Esto muestra que las empresas con gran capacidad de absorción e intensivas en I+D, tienen mayor independencia geográfica al momento de seleccionar universidades con las cuales trabajar.

Por otra parte, Feria Patiño (2009) en su tesis doctoral “Propuesta de un modelo de transferencia de conocimiento científico-tecnológico para México”, describe un modelo de relación entre actores en el marco de los Sistemas Nacionales de Innovación, como un mecanismo que permita dinamizar dichas relaciones. Entre las conclusiones del estudio, se encuentra una marcada relación entre el conocimiento científico, la innovación y los sistemas nacionales de innovación con los procesos de transferencia de conocimiento. Además, identifica que, pese a no estar formalizado el sistema nacional de innovación en México, se evidencia poca colaboración entre actores por causas como: el poco fomento legal para la interacción, el privilegio de la investigación básica, los pocos recursos financieros, el bajo nivel tecnológico de las empresas y la inmadurez de los actores. De igual forma recomienda profundizar en la metodología y aplicar el modelo en otros entornos, para comparar resultados de investigación.

Según Silva (2006), el estudio de la educación superior en México se orienta en gran parte dentro de las universidades públicas y es liderado por grupos de investigación consolidados. Por lo cual, según el

autor, hace que un programa de trabajo para el análisis institucional de la educación superior en ese país deba reconocer el contexto completo, cambiante y heterogéneo y los aspectos institucionales de las universidades. Esto máxime si se reconoce el aumento en el pluralismo y número de organizaciones de servicios educativos orientadas al mercado, lo cual genera nuevos retos y aspectos de estudios en la gestión de las universidades (Meyer & Rowan, 2006).

Otro de los estudios realizados en el marco de los procesos de transferencia es el de Salcedo Obregón (2017) en su tesis doctoral “Diseño, herramienta de transferibilidad para la I+c+D+i de la Universidad El Bosque”. En este concluye el rol protagónico de las universidades en el marco de los sistemas nacionales de ciencia, tecnología e innovación, en la medida que estas generen conocimiento pertinente y orientado a la sostenibilidad del sistema. De igual forma menciona que las universidades en el caso colombiano apenas están entendiendo su rol y la dinámica de interacción con los actores en el marco de los procesos de transferencia. Entre los aportes más relevantes del estudio se encuentra la identificación de la relación causal que existe entre la producción y el consumo del conocimiento, lo cual según el autor define las condiciones de sostenibilidad del sistema. Por último, establece la relación directa entre la caracterización de productos y servicios y el alcance de los objetivos de transferencia en las instituciones de educación superior. En cuanto a futuras líneas de investigación, el estudio propone el desarrollo de herramientas que permitan medir el impacto de la producción de conocimiento en la realidad y en el entorno de los sistemas de ciencia, tecnología e innovación.

En Colombia, aunque se han desarrollado algunos trabajos relevantes, aún son pocos los estudios que analizan de manera sistemática la TT universitaria (Lizarazo et al., 2021; Donneys & Blanco, 2016). Entre ellos se encuentra la investigación realizada por Sarmiento Suárez (2021), que se enfoca en estudiar los determinantes de la TT universitaria en Colombia a partir de la teoría de los recursos y capacidades. La investigación concluye que los procesos de TT formal en las universidades colombianas son relativamente recientes, lo que demuestra poca madurez en su desarrollo. En cuanto a los factores financieros, los recursos externos, tanto públicos como privados, son muy relevantes para la transferencia tecnológica, con relación a la baja relevancia que tienen los recursos propios de las universidades. De manera complementaria, la tesis doctoral de Salcedo Obregón (2017), centrada en la Universidad El Bosque, aporta un análisis sobre el diseño de herramientas de transferibilidad para la Investigación, desarrollo e innovación, constituyéndose en un referente adicional en el contexto colombiano. Por otra parte, entre los resultados de la investigación no se encontró una incidencia directa del entorno en los procesos de TT entre la universidad y la empresa, lo que demuestra la poca articulación entre actores.

La capacidad de transferir tecnología por parte de las instituciones académicas y científicas se ha establecido como una variable estratégica para las empresas, regiones y naciones frente a su desarrollo competitivo y crecimiento económico (Heisey & Adelman, 2011). De esta manera, el número de patentes, artículos científicos, licencias y empresas que nazcan de la investigación (Spin Off, Startup), son los indicadores más utilizados para medir el impacto de las universidades en su entorno. Es así como la orientación empresarial académica y la cantidad y calidad de redes colaborativas con las empresas, aumentará con el tiempo y tendrá un papel más relevante en los procesos de transferencia de conocimiento y tecnología (Siegel & Potterie, 2003; Rolfo & Finardi, 2014). Sin embargo, la sola generación de conocimiento por parte de las universidades no basta, la ventaja estará centrada en la capacidad de hacer fluir ese conocimiento a la empresa y la capacidad y aptitud de esta para absorber dicho conocimiento (Feria & Hidalgo, 2011; Jarohnovich & Avotiņš, 2009). Diferentes autores han definido modelos de transferencia de tecnología que permiten mapear los diversos actores y variables del proceso, buscando con esto identificar las condiciones para una eficiencia del modelo y su impacto en el entorno. Entre los modelos más interesantes se encuentran los propuestos por Heinzl et al. (2013) para las instituciones de educación austriacas (ver Tabla 2, Heinzl et al. 2013) y Feria y Hidalgo (2011) para el contexto mexicano (Figura 3).

El modelo construido por Heinzl et al. (2013), para las universidades Austriacas se concentra en tres categorías:

- La primera está relacionada con el agente proveedor, teniendo en cuenta factores como misión y estrategia, infraestructura e investigaciones, capital humano dedicado a actividades científicas y tecnológicas y diseño organizacional para la investigación.
- La segunda categoría está relacionada con el agente receptor, que incluye la demanda de la industria y las capacidades de utilización.
- La tercera categoría estudia los factores relacionados con el medio ambiente y sus transacciones, tales como modalidades de transacción y la estructura de las condiciones.

De esta manera, el modelo de Heinzl et al. (2013), muestra la importancia que tiene la creación de alianzas estratégicas con otras instituciones generadoras de conocimiento y tecnología, el aumento de la financiación en la investigación y la necesidad de lograr cambios estructurales en cuanto al personal y los grupos y centros de investigación, al igual que el fortalecimiento de instituciones intermedias como agencias de desarrollo regional, oficinas de patentes o agencias de consultoría financiera.

**Tabla 2***Modelo genérico de TT*

Categorías	Factores que influyen en los resultados de la TT	Dimensiones claves	
Factores relacionados con el agente facilitador	Misión y estrategia	I&D Foco temático	
		I&D Orientación	
	Infraestructura y recursos	Misión de la investigación	
		Recursos financieros	
Factores relacionados con el agente receptor	Capital humano en ciencia y tecnología	Infraestructura técnica	
		Tamaño del equipo de I&D	
	Diseño organizativo de la investigación	Excelencia científica	
		Conocimiento de las aplicaciones	
Factores relacionados con el entorno y las transacciones	Demanda de la Industria	Excelencia empresarial	
		Redes personales	
	Modalidades de transacción	Motivación	
		Estructura organizativa de la investigación	
Factores relacionados con el agente receptor	Capacidad de uso	Procesos	
		Estructuras de apoyo	
Factores relacionados con el entorno y las transacciones	Modalidades de transacción	Esquemas de incentivos	
		Imagen de la I&D	
	Factores relacionados con el agente receptor	Capacidad de uso	Demanda articulada
			Demanda latente
Factores relacionados con el entorno y las transacciones	Modalidades de transacción	Capacidad de absorción	
		Capacidad de comercialización	
	Factores relacionados con el entorno y las transacciones	Modalidades de transacción	Condiciones de transferencia
			Mecanismos de transferencia
Factores relacionados con el entorno y las transacciones	Modalidades de transacción	Adecuación de la oferta y la demanda	
		Confidencialidad	
Factores relacionados con el entorno y las transacciones	Modalidades de transacción	Cohesión social	

Categorías	Factores que influyen en los resultados de la TT	Dimensiones claves
	Condiciones generales	Programas de financiación Estructuras de intermediación Regulación y legislación Cultura de colaboración

Nota. Adaptado de Technology transfer model for Austrian higher education institutions (p. 22) por Heinzl et al. (2013). Journal of Technology Transfer, ISSN 0892-9912 DOI: <https://doi.org/10.1007/s10961-012-9258-7>

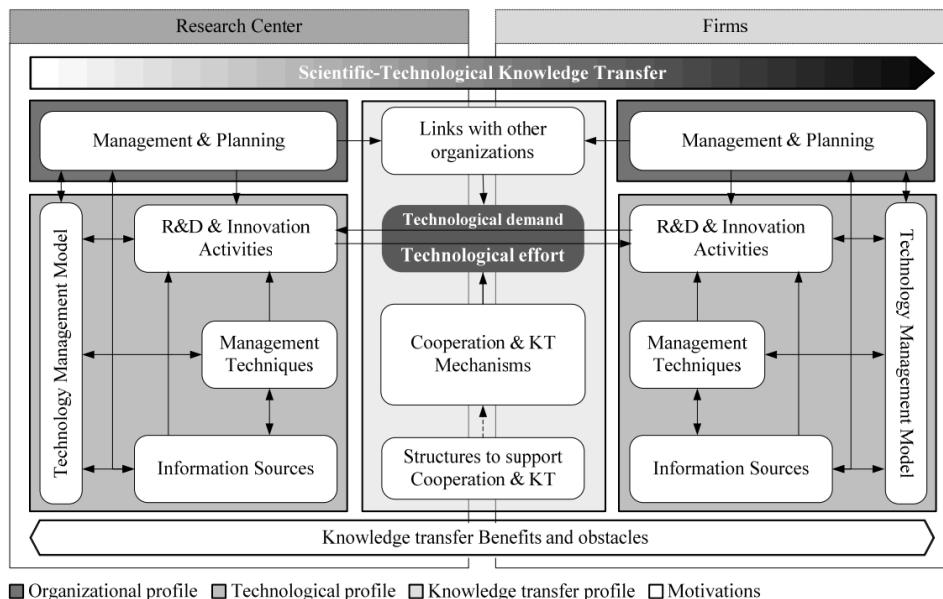
Si bien el modelo de Heinzl et al. (2013) es interesante desde su enfoque de relacionamiento entre las universidades y el sector empresarial, su dinámica es muy particular para el caso de Austria. Esto se debe a una serie de factores, como el nivel de desarrollo económico del país, su sistema de educación superior y su sistema de innovación.

Por lo tanto, el modelo no podría ser replicado de manera exacta en entornos latinoamericanos. Sin embargo, algunos aspectos de este modelo pueden ser retomados para definir modelos particulares en otros países. Por ejemplo, la importancia de crear alianzas estratégicas entre universidades y empresas, el aumento de la financiación en la investigación y la necesidad de lograr cambios estructurales en cuanto al personal y los grupos y centros de investigación, son aspectos que pueden ser adaptados a contextos latinoamericanos.

Además, es importante tener en cuenta que los modelos de TT son dinámicos y evolucionan con el tiempo. Por lo tanto, es importante adaptar los modelos a las necesidades específicas de cada país.

**Figura 3**

*Modelo de transferencia de conocimiento científico – tecnológico*



Nota. Tomado de Towards a transfer model of scientific and technological knowledge: the case of México (p. 5) por V. Feria Patiño & Hidalgo Nuchera, 2011. International Association for Management of Technology.

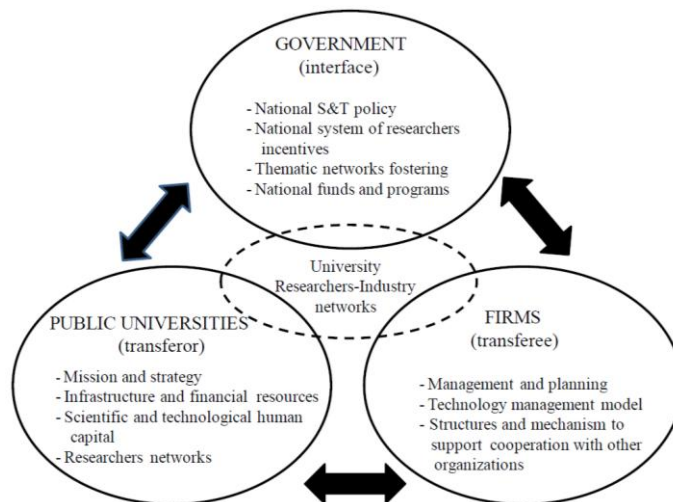
El modelo propuesto por Feria y Hidalgo (2011) (Figura 4), analiza la profundidad de los diferentes aspectos del proceso de transferencia, teniendo en cuenta aquellas organizaciones que han tenido éxito en el proceso. De esta forma, identificó diferentes características que dan una mayor eficiencia al modelo, entre ellas se encuentran el perfil organizacional (características organizacionales y del sistema de gestión), el perfil tecnológico (actividades de I+D+i, fuentes de información y modelos de gestión de la tecnología) y por último el perfil de transferencia de conocimiento (mecanismo de transferencia de conocimiento con otras organizaciones y estructuras de apoyo a este proceso, motivaciones, impactos, beneficios y obstáculos). El modelo muestra la influencia e interacción entre cada uno de los perfiles en el marco de las actividades de transferencia.

Frente al modelo de transferencia de conocimiento científico-tecnológico de Feria y Hidalgo (2011), autores como Necochea-Mondragón et al. (2013) sostienen que no se consideran aspectos relevantes en la construcción del modelo, como la participación de universidades y que la participación de empresas no incluye a las organizaciones más importantes en aspectos de innovación en México, lo que hace que el modelo no se adapte de manera completa a las particularidades del sistema nacional de innovación del país.

Teniendo en cuenta los modelos de transferencia propuestos por Heinzl et al. (2013) y Feria y Hidalgo (2011), Necochea-Mondragón et al. (2013) propone un modelo de TT para las universidades mexicanas (Figura 4), teniendo en cuenta los vacíos y aspectos a mejorar en el modelo construido por Feria Patiño y Hidalgo (2011) y las condiciones aplicables en el modelo genérico de TT de Heinzl et al. (2013).

**Figura 4**

*Modelo de TT de redes para universidades*



Nota. Tomado de A conceptual model of technology transfer for public universities in México (p. 9) por Necochea-Mondragón et al., 2013. *Journal of Technology Management and Innovation*. <https://doi.org/10.4067/S0718-27242013000500003>

El modelo propuesto por Necochea-Mondragón et al. (2013) (Figura 4) plantea que los procesos de transferencia universitaria deben ser definidos de forma particular según los factores de las regiones de influencia, dado que un modelo genérico no permite involucrar particularidades de los agentes y sus entornos directos. De esta manera, el autor define tres categorías en su modelo:

- La primera identifica los factores relacionados con el agente proveedor de la tecnología.
- La segunda explora las condiciones relacionadas con el agente receptor.
- La tercera categoría analiza el medio ambiente y las transacciones.

En el caso de la primera categoría, se involucran todas aquellas organizaciones con capacidades para generar y transferir tecnologías. Específicamente, relaciona a las universidades como transmisoras, teniendo en cuenta su direccionamiento estratégico frente a la investigación.

La segunda categoría se enfoca en organizaciones que son receptoras de la tecnología, principalmente empresas (cesionario). En este aspecto se analiza la gestión, planificación, estructura y modelo de gestión tecnológica de la empresa.

La tercera categoría involucra al gobierno como institución de interfaz entre las dos primeras. Estudia el sistema nacional de incentivos para la investigación, las redes temáticas y los fondos y programas nacionales.

De esta manera, el modelo de Necochea-Mondragón et al. (2013) muestra una interacción de doble vía entre las categorías y sus autores, teniendo en cuenta la generación de redes para el fortalecimiento de los procesos de TT para las universidades mexicanas.

Los procesos de TT implican el desarrollo y uso de mecanismos y medios que permiten la correcta transferencia del objeto tecnológico. Los mecanismos son herramientas vinculadas y los medios son la manera en que se presenta el objeto o bien tecnológico. En la Tabla 3 (Vargas González et al., 2021). se muestra la relación entre el objeto de transferencia, el medio, los mecanismos, la modalidad formal e informal y los resultados.

**Tabla 3**

*Lista de elementos en la TT*

Objeto de transferencia	Medio de transferencia	Mecanismo de transferencia	Modalidad	Salida del proceso de transferencia	Etapa de uso de la tecnología
Conocimientos científicos, prototipos, diseños de procesos, know-how, tecnología a y desarrollo	Patentes	Licencia	Formal	Utilización de tecnología con restricciones legales para su uso por el mercado	Explotación
		Spin -Off universitaria		Industria con restricciones legales	Exploración, validación y explotación
	Prototipo	Licencia		Uso de la tecnología con restricciones del mercado	Explotación
		Contrato de ventas		Utilización de tecnología sin restricciones legales para su uso por el mercado	Explotación
	Estudios de investigación	Licencia		Utilización de tecnología con restricciones legales para su uso por el mercado	Exploración, validación y explotación
		Contrato de ventas		Utilización de tecnología sin restricciones legales para su uso por el mercado	Explotación

Objeto de transferencia	Medio de transferencia	Mecanismo de transferencia	Modalidad	Salida del proceso de transferencia	Etapa de uso de la tecnología
		Suministro de tecnología a la industria		Utilización de tecnología con restricciones legales para su uso por el mercado	Validación y explotación
		Spin universitaria		Industria sin restricciones legales	Validación y explotación
Presentaciones y conferencias		Spin universitaria	Informal	Industria sin restricciones legales	Validación y explotación
		Captación de conocimientos		Transferencia de conocimiento	Exploración, validación y explotación
Publicaciones		Spin universitaria		Industria sin restricciones legales	Validación y explotación
		Captación de conocimientos		Transferencia de conocimiento	Exploración, validación y explotación
Movilidad del personal investigador		Spin universitaria		Industria sin restricciones legales	Validación y explotación
		Captación de conocimientos		Transferencia de conocimiento	Exploración, validación y explotación
		Contratación		Transferencia de conocimiento	Exploración, validación y explotación
Discusiones informales		Spin universitaria		Industria sin restricciones legales	Validación y explotación

Objeto de transferencia	Medio de transferencia	Mecanismo de transferencia	Modalidad	Salida del proceso de transferencia	Etapa de uso de la tecnología
		Captación de conocimientos		Transferencia de conocimiento	Exploración, validación y explotación

*Nota.* Adaptado Vargas González et al., (2021).

Vargas et al. (2021) muestra la relación que se da en los procesos de TT, teniendo en cuenta al transmisor (en este caso las universidades) y el receptor (la industria). Los autores vinculan de manera directa el contexto social, político y el direccionamiento de las universidades y la industria, los mecanismos, los medios, el objetivo y los procesos de gestión, buscando de esta manera la eficiencia en los modelos y la maximización del beneficio entre las partes.

Si bien el tema de la TT se ha venido trabajando en los últimos años y es indudable que las universidades han estado involucradas en estos estudios, aún es necesario fortalecer las investigaciones que relacionen de manera directa los procesos de TT de las universidades con las empresas, teniendo en cuenta factores que permitan analizar su impacto con el fin de proponer estrategias y políticas para su fortalecimiento.

### **2.2.2 Aproximación a paradigmas de modelación y simulación en la TT**

La modelación se entiende como una forma de resolver problemas que ocurren en el mundo real, a través de la creación de procesos de experimentación y desarrollo de prototipos, escenarios que de ser probados en el mundo real generarían altos costos o incluso en algunas circunstancias serían imposibles de ejecutar. De esta forma, el modelado permite optimizar una posible mejora a un sistema antes de implementarla en un entorno real (Borshchev & Filippov, 2004). Es así como el modelado incluye el mapeo del problema a través de una condición controlada que permite la iteración de posibles simulaciones de una solución.

La manera de clasificar los paradigmas de simulación de Enfoque de Sistemas Dinámicos (DS), Dinámica de Sistemas (SD), Eventos Discretos (ED) y Simulación Basada en Agentes (MBA), es entendiendo su nivel de abstracción, nivel de detalle con relación a su construcción y su enfoque de aplicación (macro, micro y operativo). En la Figura 5 (Borshchev & Filippov, 2004), se muestra de una manera más clara su

clasificación y orientación desde su aplicación, según las condiciones y necesidades del modelo a simular. La etapa de abstracción permite entonces identificar la primera fase de modelo y recoger los aspectos más importantes del sistema. Es en esta fase donde se realiza una observación completa del sistema real y extracción de datos para finalizar con la conceptualización del sistema objetivo (Izquierdo, 2008). A continuación, se describen cada uno de los paradigmas de simulación:

### **Paradigmas de modelación:**

**Dinámica de Sistemas (DS):** se ocupa del análisis de manera agregada, con un mayor nivel de abstracción. Estudia las características de retroalimentación de información de la actividad industrial y muestra como la estructura organizativa, la amplificación y como los retrasos temporales interactúan para influir en el éxito de la empresa (Forrester, 1997). Tiene aplicaciones en sistemas de tipo urbano, social y ecológico y su representación es en términos de existencias, flujos e información. La DS se abstrae de los acontecimientos y entidades individuales y adopta una visión agregada que se concentra en las políticas.

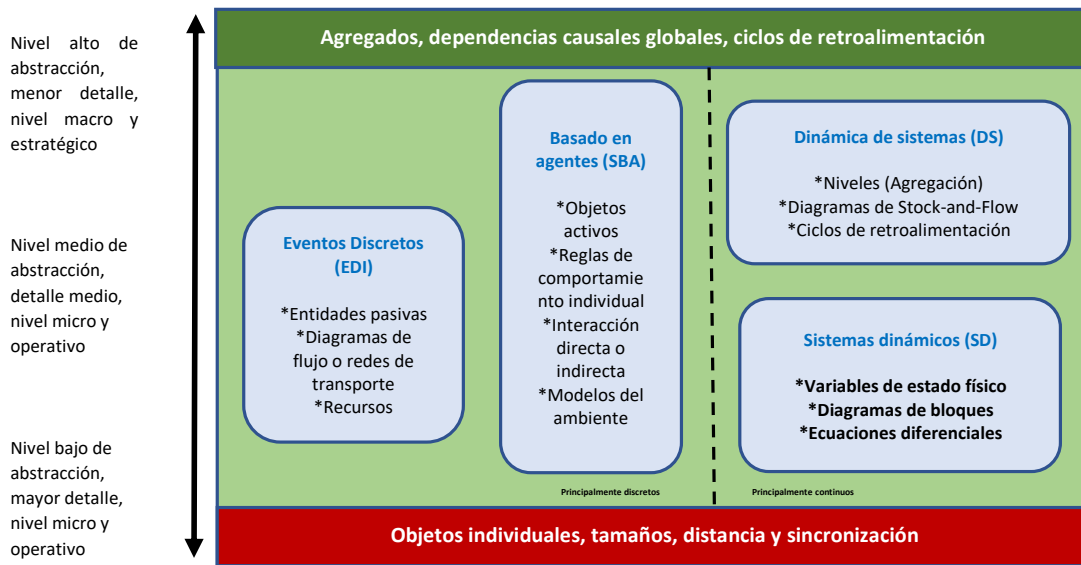
**Sistemas Dinámicos (SD):** se ocupa de los agregados y su nivel de abstracción es bajo o medio. Se representa a través de diagramas de bloques, con un lenguaje de modelado gráfico. El modelo matemático se representa con ecuaciones diferenciales algebraicas. En este caso, las variables tienen un significado de tipo físico, directo, localizado, de velocidad, aceleración, presión, etc., son inherentes y continuos.

**Eventos discretos (ED):** su nivel de abstracción es bajo o medio. Se describe a través de diagramas de bloque y flujo de entidades y el reparto de recursos. Las entidades en este caso son objetos pasivos que representan personas, piezas, documentos, tareas, mensajes y todo viaja a través de bloques en un diagrama de flujo donde se definen colas, retrasos, procesamiento, toma y liberación de recursos, división o combinación.

**Basada en Agentes (BA):** se utiliza en todos los niveles de abstracción, dado que define el comportamiento individual de los agentes, por lo cual el comportamiento global surge como resultado de muchos (decenas, cientos, etc.), individuos. Cada agente sigue sus propias reglas de comportamiento, conviviendo en un entorno y comunicándose entre sí y con el entorno. En este modelado una parte del comportamiento del agente se define como diagrama de estados y variables externas como elementos del entorno (Borshchev & Filippov, 2004).

**Figura 5**

*Paradigmas de la modelación y simulación según la escala de abstracción*



Nota. Adaptado de Borshchev & Filippov, (2004) (Pág. 3).

Los diferentes paradigmas de modelado permiten hacer una representación de un sistema real, sin embargo, cada uno tiene focos y límites en su aplicación. Por ejemplo, el enfoque de dinámica de sistemas (DS) se utiliza con un mayor grado de abstracción y menor detalle, mientras que los enfoques de eventos discretos y sistemas dinámicos tienen un nivel medio y bajo de abstracción con niveles micro y operativo de aplicación. Estos enfoques permiten simular modelos más lineales con menor grado de complejidad.

Por otra parte, la simulación basada en agentes (MBA) ha demostrado ser una herramienta muy útil para modelar sistemas complejos y especialmente sistemas sociales (Gilbert, 1999; Gilbert & Terna, 2000; Matthews et al., 2007). Esta técnica permite que el modelador reconozca explícitamente que los sistemas complejos son producto de comportamientos individuales en un contexto específico (Izquierdo et al., 2008). Otra de las ventajas de la MBA es la capacidad que tiene para estimar la plausibilidad del comportamiento de los agentes, en su interacción y los efectos de esos comportamientos y sus interacciones (Sansores & Pavón, 2005).

Entre tanto, Schreinemachers y Berger (2011) explicaron el desarrollo de un software de MBA, denominado sistema multi-agentes, el cual está centrado en programación matemática y tiene como propósito la optimización con restricciones para la simulación en la toma de decisiones en sistemas agrícolas. El objetivo de este software es entender con mayor claridad el uso de la tecnología agrícola, las

condiciones de los mercados dinámicos, el medio ambiente y las condiciones políticas que pueden afectar a la población en este sector.

**2.2.2.1 Modelación y simulación basada en agentes.** Un modelo de simulación es un conjunto de reglas, tales como ecuaciones, diagramas de flujo, etc., que definen las condiciones de cambio futuro de un sistema modelado a través del tiempo, ya sea por cambios en los estados de manera discreta o continua. En todo caso, la mejor forma de intervenir problemas complejos es el modelado por simulación (Borshchev & Filippov, 2004).

La modelación basada en agentes (MBA) se considera una técnica adecuada para estudiar los procesos de innovación, teniendo en cuenta la interacción de los agentes y el nivel de incertidumbre causada por la racionalidad limitada de datos e información. A diferencia de la modelación neoclásica basada en ecuaciones o la dinámica de sistemas, técnicas limitadas o restrictivas para estudiar las redes de innovación en el desarrollo regional (Vermeulen & Pyka, 2016).

Los modelos basados en agentes (MBA) se enfocan en la descripción de contextos sociales, ya que involucran la generación de modelos con participación de agentes y un ambiente en el cual dichos agentes interactúan (Matthews et al., 2007). De esta manera, la teoría tiene su mayor representación en la simulación por computadora, dada su capacidad de descubrimiento, comprensión y formalización (Hamill & Gilbert, 2009).

Los paradigmas de modelación y simulación basada en agentes han sido utilizados en múltiples investigaciones que tienen como objetivo la generación de políticas que fortalezcan los sistemas regionales de innovación. Por ejemplo, Ponsiglione et al., (2017) estudia la autosostenibilidad de los sistemas regionales de innovación, entendiendo sus recursos, competencias y mecanismos utilizados para desencadenar los procesos de innovación y crecimiento económico. Esta investigación permitió identificar la capacidad de exploración, la propensión a la cooperación y la dotación de competencias de los agentes que pertenecen a una región y cómo estos podrían considerarse aspectos clave para la generación de resultados positivos en materia de innovación en las regiones a través de la MBA. De esta forma, la investigación concluye que los responsables de la política deberían incentivar la inversión en investigación y desarrollo, apoyar las asociaciones público-privadas, mejorar los sistemas universitarios nacionales y regionales y aumentar el número de investigadores empleados tanto en el sector privado como público.

Por otra parte, Orjuela-Garzon et al., (2021) utilizan la MBA para estudiar los procesos de TT en las cadenas agrícolas en Colombia, con el fin de mejorar su productividad y competitividad. De esta manera, se logra una mejor comprensión de los procesos de TT, teniendo en cuenta la dinámica de interacción y

los patrones de comportamiento de los agentes involucrados. De igual forma, Triulzi et al., (2014), en su investigación sobre la investigación y desarrollo y las dinámicas del conocimiento en las relaciones universidad-industria en el sector de la biotecnología y farmacia, hacen uso de la MBA para analizar las interacciones de conocimiento entre los actores heterogéneos en esta relación. Los resultados muestran que las universidades tienden a cambiar su orientación de la investigación básica a la aplicada y obteniendo un beneficio financiero por parte de la industria por su capacidad de generación de innovaciones. Además, la capacidad innovadora de las empresas del sector se beneficia de la interacción del conocimiento con las universidades y que una adecuada orientación de las políticas en materia de financiación pública en investigación básica puede contrarrestar los efectos negativos en la relación universidad-empresa sobre el enfoque de los procesos de investigación universitaria.

Otra aplicación de la MBA en los procesos de TT fue desarrollada en investigaciones realizadas por Beretta et al. (2018), en las cuales se identifica un modelo teórico de adopción de tecnología. Este modelo plantea que la difusión de la información sobre una tecnología está relacionada con la estructura social de los adoptantes y su grado de asertividad. De igual forma, los paradigmas de simulación ya habían sido utilizados para analizar los procesos de TT en el desarrollo de modelos de adopción de tecnología basados en el entendimiento de la heterogeneidad de los agentes, utilizando para esto datos cualitativos y cuantitativos (Davis et al., 2007; Muelder & Filatova, 2018).

Otras investigaciones han abordado de igual modo los procesos de TT utilizando la modelación y simulación basada en agentes, como una herramienta para la construcción de estrategias y políticas que permitan entender y fortalecer la relación de los actores involucrados en el proceso (Backs et al., 2019; Manuela & Manfred, 2014; Neuländtner, 2020).

La revisión del estado del arte permitió identificar modelos de TT universitaria que se estructuran en torno a tres dimensiones centrales: las capacidades del agente facilitador (universidad), las del agente receptor (empresa) y los factores del entorno y transacción que median la relación (Heinzl et al., 2013; Feria & Hidalgo, 2011; Necochea-Mondragón et al., 2013), estos modelos sirvieron como referencia para la definición de las variables objeto de estudio en esta investigación, las cuales en un primer momento constituyeron 56 factores que reflejan la diversidad de enfoques presentes en los procesos de TT universitaria.

### 3 Capítulo 3. Metodología de la Investigación

#### 3.1 Clasificación de la investigación

Esta investigación se desarrolló bajo un enfoque mixto, combinando métodos cuantitativos y cualitativos para analizar las dinámicas de relación entre las universidades y las empresas en el marco de los modelos de TT universitaria. La adopción de este enfoque se fundamenta en la necesidad de integrar los aportes provenientes del análisis documental, la validación con expertos para la selección de las variables y los datos recolectados con expertos, con la capacidad de los modelos de simulación para representar de manera complementaria las interacciones y dinámicas propias de la TT en las universidades.

El diseño de la investigación se planteó con un enfoque descriptivo y explicativo, orientado a caracterizar las relaciones universidad empresa y a examinar los factores que inciden en la TT en las universidades. En la fase de modelación y simulación, se incorporaron elementos dinámicos mediante modelación basada en agentes, lo que permitió representar la evolución del sistema en el tiempo y explorar posibles escenarios derivados de la aplicación de diferentes estrategias. Finalmente, la investigación generó una propuesta en cuanto a políticas y estrategias para el fortalecimiento de los procesos de TT en las universidades.

#### 3.2 Fases de la investigación

La investigación se desarrolló en cuatro fases principales (Figura 6), a continuación, se describen cada una de ellas:

##### **Fase 1: Diagnóstico y caracterización**

- Revisión sobre modelos de TT y su interacción con las empresas
- Encuestas exploratorias aplicadas a expertos en TT, para identificar las variables objeto de estudio y la validación del instrumento de recolección de datos, aplicando la herramienta Ábaco de Régnier (Martelo & Acevedo, 2017; Riemens et al., 2021)

## **Fase 2: Recolección y análisis de datos**

- Identificación de la población y muestra objeto de estudio. Teniendo en cuenta el índice de Innovación departamental en Colombia y el número de grupos de investigación avalados por Minciencias, criterio reconocido en Colombia como medida de I+D institucional, de acuerdo con el modelo de medición de grupos de investigación (MinCiencias, 2021) y los lineamientos de política pública de ciencia, tecnología e innovación en el país (Colciencias; OCDE, 2014). Esta identificación se complementa con la literatura que destaca la relevancia de las capacidades investigativas como base para la generación de proyectos transferibles (Etzkowitz & Leydesdorff, 2000; Siegel et al., 2007)
- Aplicación de encuestas y entrevistas a responsables de la TT en las universidades objeto de estudio (Antioquia y Risaralda)
- Análisis de datos secundarios (Indicadores de innovación, propiedad intelectual, colaboración universidad-empresa)
- Procesamiento y análisis descriptivo y multivariado de datos, mediante técnicas estadísticas, utilizando herramientas que comprenden Excel, software libre JASP® y Posit Cloud® (R). El análisis estadístico incluyó el índice de validez de Contenido (IVC) para validar el instrumento de recolección de datos, correlación de Pearson, Análisis de Componentes Principales (PCA por sus siglas en inglés) y análisis multivariado para explorar relaciones entre variables

## **Fase 3: Modelación y simulación basada en agentes**

- Definición del modelo conceptual: Identificación de agentes, sus atributos y reglas de interacción
- Desarrollo computacional del modelo: implementación del modelo en el software especializado de uso libre Netlogo® Versión 6.4.0
- Calibración y verificación: ajuste de parámetros iniciales, con datos primarios y secundarios y verificación de las correspondencias entre el modelo conceptual y el código en Netlogo® para asegurar las consistencias en las reglas programadas
- Validación del modelo: esta se realizó siguiendo los lineamientos de Sargent (2013), considerando tanto la validez conceptual como la operacional. En este proceso se aplicó la técnica de juicio de expertos (fase validity), consultando a tres expertos en TT universitaria que evaluaron si las dinámicas y resultados del modelo representan de manera realista el fenómeno estudiado

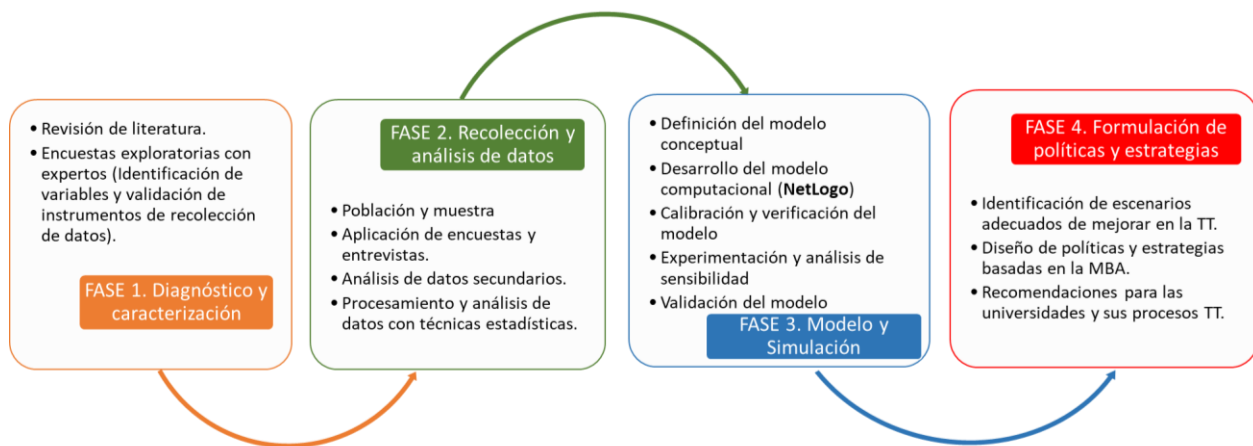
- Experimentación y análisis de sensibilidad: ejecución de simulaciones bajo diferentes escenarios y aplicación de Latin Hypercube Sampling (LHS), ANOVA factorial y método de Morris para evaluar la influencia de los parámetros de entrada y explorar patrones emergentes

#### Fase 4: Formulación de políticas y estrategias

- Identificación de escenarios adecuados para mejorar la TT en las universidades
- Diseño de políticas y estrategias basadas en los resultados de la simulación para el fortalecimiento del desempeño en la TT universitaria
- Elaboración de recomendaciones para las universidades

**Figura 6**

*Fases del Marco Metodológico propuesto*



La investigación permitió identificar en una primera fase las condiciones institucionales de las universidades objeto de estudio y de sus procesos de TT, así como su interacción con el sector empresarial. De esta manera se caracterizaron siete universidades pertenecientes a los departamentos de Risaralda y Antioquia, cuyos datos recolectados facilitaron comprender las dinámicas de la TT y reconocer sus capacidades investigativas, así como su potencial para generar proyectos tecnológicos con potencialidad de transferencia hacia el entorno empresarial.

### 3.3 Población y muestra

Las regiones seleccionadas para el desarrollo de la investigación fueron Antioquia y Risaralda, dado su posición en el índice de Innovación Departamental para el año 2021 (Departamento Nacional de Planeación, 2022). Este estudio clasificó a los departamentos en grupos de “Desempeño Alto”, “Desempeño Medio Alto”, “Desempeño Medio Bajo” y “Desempeño Bajo”. En el grupo de desempeño alto solo se encuentran Bogotá y Antioquia, con un porcentaje de 69.66 y 61.47 respectivamente. En el grupo de desempeño medio alto se encuentran Valle del Cauca, con un puntaje de 51.04; Santander, con 49.61 puntos; Risaralda, con 47.68 puntos y cerrando el grupo Bolívar, con 39.71 puntos. Estos datos permitieron concluir que Antioquia y Risaralda están en los grupos con mayor potencial de innovación en Colombia y que presentan dinámicas importantes, lo cual es muy relevante para el desarrollo de la presente investigación.

Por otra parte, tanto Antioquia como Risaralda cuentan con un número importante de universidades. Según el reporte del Sistema Nacional de Información de la Educación Superior (SNIES) para el año 2023, Antioquia contaba con 12 universidades, de las cuales dos son públicas y diez son privadas, también cuenta con 26 instituciones universitarias o escuelas tecnológicas. En el caso de Risaralda, cuenta con tres universidades, una pública y dos privadas, y tres instituciones universitarias o escuelas tecnológicas. En cuanto a las capacidades de investigación, con un número de grupos de investigación avalados por Minciencias, Antioquia tiene 834 grupos y 3528 investigadores reconocidos, de los cuales 2169 cuentan con doctorado. Por su parte, Risaralda contaba con 170 grupos y con 413 investigadores reconocidos, de los cuales 203 tienen título de doctorado (Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, 2023).

Como población objeto de estudio fueron seleccionadas instituciones con el carácter académico de Universidad, que cuenten con el mayor número de grupos de investigación en términos de capacidad para la TT y que tuvieran a la fecha de la investigación sus oficinas de TT activas en Colombia. Para el caso de Antioquia, fueron seis universidades definidas para el estudio (Tabla 4) y para el caso de Risaralda fueron seleccionadas para la investigación las tres principales universidades del departamento (Tabla 5).

**Tabla 4***Instituciones de Educación Superior en Antioquia con carácter académico de Universidad*

Nombre de la Institución		Sede	Sector	Número de grupos de Investigación
Universidad de Antioquia		Principal	Oficial	267
Universidad Nacional de Colombia		Seccional	Oficial	(125 – 37 en la sede Medellín)
Universidad Bolivariana	Pontificia	Principal	Privado	53
Universidad EAFIT		Principal	Privado	43
Universidad CES		Principal	Privado	35
Universidad de Medellín		Principal	Privada	31

Nota. Elaboración propia con datos de SNIES y Minciencias. Ministerio de Educación Nacional, 2023; Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, 2023. Datos de 2021-2022.

**Tabla 5***Instituciones de Educación Superior en Risaralda con carácter académico de Universidad*

Nombre de la Institución		Sede	Sector	Número de grupos de Investigación
Universidad Tecnológica de Pereira – UTP		Principal	Oficial	115
Universidad Libre		Seccional	Privado	12
Universidad Católica de Pereira		Principal	Privado	7

Nota. elaboración propia con datos de SNIES y Minciencias. Ministerio de Educación Nacional, 2023; Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, 2023. Datos de 2021-2022.

### 3.4 Selección de las variables objeto de estudio

Teniendo en cuenta el marco teórico y el estado del arte se identificaron 56 variables. Esta selección se fundamentó en el análisis de tres modelos y referentes conceptuales que presentan estructuras comparables y que permiten operacionalizar constructos en variables observables. En primer

lugar, el modelo de Heinzl et al. (2013), que organiza los determinantes de la TT en torno al agente facilitador, el agente receptor y los factores del entorno y de transacción, proporcionando un marco general de referencia, en segundo lugar, la propuesta de Feria & Hidalgo (2011), que incorpora perfiles organizacionales, tecnológicos y de transferencia, y refuerza las dimensiones internas asociadas a la I+D+i, mecanismos de gestión y estructuras de apoyo. Finalmente, el modelo de ajuste realizado por Necochea-Mondragón et al. (2013) al contexto universitario, que retoma la misma triada categorial y destaca la importancia de adecuar los factores al marco regional. Estos tres modelos convergen en categorías y dimensiones comparables, lo que permitió construir y clasificar las variables en las tres categorías definidas, obteniendo 30 variables en la categoría del agente facilitador, 14 de la categoría del agente receptor y 12 de la categoría de los factores relacionados con el entorno y las transacciones (Tabla 6).

**Tabla 6***Identificación de variables*

<b>Categoría</b>	<b>Variable</b>	<b>Fuente</b>
<b>Enfoque del agente facilitador</b>	Capacidad para la generación de redes	Heinzl et al. (2013); Necochea-Mondragón et al. (2013)
	Orientación de la misión y estrategia a la TT	Heinzl et al. (2013)
	Capacidades en Infraestructura para la generación de conocimiento	Heinzl et al. (2013); Feria & Hidalgo (2011)
	Capacidades en Infraestructura para los procesos de TT	Heinzl et al. (2013)
	Recursos financieros para la TT	Heinzl et al. (2013)
	Tamaño y perfil del equipo de trabajo para TT	Heinzl et al. (2013)
	Número y perfil de los investigadores	Heinzl et al. (2013); Necochea-Mondragón et al. (2013)
	Excelencia científica (medición grupos e investigadores)	Heinzl et al. (2013)
	Nivel de motivación de los investigadores	Necochea-Mondragón et al. (2013)
	Nivel de motivación del equipo de TT	Necochea-Mondragón et al. (2013)

<b>Categoría</b>	<b>Variable</b>	<b>Fuente</b>
	Área y cargos definidos para TT en la estructura organizacional	Feria & Hidalgo (2011)
	Estructura de apoyo organizacional para la TT	Feria & Hidalgo (2011)
	Incentivos para la TT	Heinzl et al. (2013); Feria & Hidalgo (2011)
	Articulación con la demanda	Heinzl et al. (2013)
	Capacidades para la identificación de las necesidades del mercado	Feria & Hidalgo (2011)
	Capacidades en negociación y comercialización de tecnología	Feria & Hidalgo (2011)
	Modelo de gestión y planificación de la TT	Necoechea-Mondragón et al. (2013)
	Indicadores del proceso de TT	Heinzl et al. (2013)
	Proceso de aprendizaje en lecciones aprendidas	Necoechea-Mondragón et al. (2013)
	Programas, cursos de extensión, diplomados, seminarios	Feria & Hidalgo (2011)
	Capacidades en servicios tecnológicos	Feria & Hidalgo (2011)
	Fortaleza en canales de comunicación para la TT	Necoechea-Mondragón et al. (2013)
	Propiedad intelectual (número registros, patentes, modelos de utilidad, diseños industriales)	Feria & Hidalgo (2011)
	Número de licencias, convenios o contratos	Heinzl et al. (2013)
	Número de spin off, Startup	Necoechea-Mondragón et al. (2013)
	Regalías por procesos de TT	Necoechea-Mondragón et al. (2013)

<b>Categoría</b>	<b>Variable</b>	<b>Fuente</b>
	Ingresos por programas, cursos de extensión, diplomados, seminarios objeto de los procesos de TT	Feria & Hidalgo (2011)
	Proyectos conjuntos con empresas en investigación y desarrollo	Heinzl et al. (2013)
	Difusión del conocimiento en revistas científicas	Feria & Hidalgo (2011)
	Alquiler de equipos tecnológicos para el desarrollo de procesos de I+D+i	Necoechea-Mondragón et al. (2013)
<b>Enfoque del agente receptor</b>	Acceso de las empresas a programas, convocatorias y fuentes de financiación a los procesos de TT	Heinzl et al. (2013)
	Capacidad de las empresas para generar redes	Necoechea-Mondragón et al. (2013)
	Capacidades de absorción y aprendizaje de las empresas	Heinzl et al. (2013)
	Nivel de desarrollo tecnológico de las empresas	Feria & Hidalgo (2011)
	Capacidad de los equipos de trabajo de las empresas para los procesos de TT	Heinzl et al. (2013)
	Capacidad en la identificación, desarrollo y comercialización de tecnología de la empresa	Feria & Hidalgo (2011)
	Modelos de gestión y planificación de la TT	Necoechea-Mondragón et al. (2013)
	Propiedad intelectual (número registros, patentes, modelos de utilidad, diseños industriales)	Feria & Hidalgo (2011)
	Número de licencias, convenios o contratos	Heinzl et al. (2013)
	Número de spin off, Startup	Necoechea-Mondragón et al. (2013)

<b>Categoría</b>	<b>Variable</b>	<b>Fuente</b>
	Regalías por procesos de TT	Heinzl et al. (2013)
	Capacidad de las empresas para realizar Convenios con Universidades	Necoechea-Mondragón et al. (2013)
	Proyectos conjuntos con universidades en investigación y desarrollo	Heinzl et al. (2013)
	Empresas con área o departamento de I+D+i	Feria & Hidalgo (2011)
	Infraestructura tecnológica de las empresas para el desarrollo de procesos de I+D+i	Feria & Hidalgo (2011)
<b>Factores relacionados con el entorno y las transacciones</b>	Programas, convocatorias y fuentes de financiación a los procesos de TT	Heinzl et al. (2013)
	Condiciones del entorno para el desarrollo de actividades de TT	Necoechea-Mondragón et al. (2013)
	Mecanismos disponibles para la TT	Heinzl et al. (2013)
	Capacidad de cooperación entre los actores para la TT	Necoechea-Mondragón et al. (2013)
	Políticas, normativas entorno a la Propiedad Intelectual	Necoechea-Mondragón et al. (2013)
	Adecuación entre la oferta y la demanda de tecnología (Universidad – Empresa)	Heinzl et al. (2013)
	Estructuras de intermediación para la TT	Heinzl et al. (2013)
	Regulación y normativa para la TT	Necoechea-Mondragón et al. (2013)
	Cultura de cooperación entre actores (Universidad – Empresa)	Necoechea-Mondragón et al. (2013)
	Incentivos para la investigación, desarrollo e innovación	Feria & Hidalgo (2011)
	Redes temáticas	Necoechea-Mondragón et al. (2013)

En una segunda etapa, las variables fueron sometidas a evaluación por parte de expertos con el objetivo de determinar su impacto en la TT universitaria. Para esto, se empleó como herramienta el Ábaco de Régnier (ver Anexo 1), la cual permite evaluar y tomar decisiones de manera colectiva con análisis participativos, clasificando las variables en diferentes niveles de importancia: alta, media, neutra, baja, muy baja o sin respuesta (Matelo & Acevedo, 2017; Riemens et al., 2021). La evaluación contó con la participación de cinco expertos con amplia trayectoria en innovación, gestión tecnológica y transferencia de conocimiento: una magíster y estudiante de Doctorado con experiencia en TT, emprendimiento e innovación en educación superior (Universidad de Ottawa), dos doctores vinculados a la Fundación ECSIM con experticia en simulación, economía, innovación y gestión de I+D+i, un doctor en ingeniería de la UPB con formación en comercialización de tecnología y bioprocesos, y un magíster en gestión tecnológica y especialista en proyectos, actualmente gerente en el Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia (CTA).

La evaluación realizada por expertos dio como resultado la definición de 38 variables (ver Anexo 2), las cuales fueron analizadas y clasificadas según tipología (dependiente, independiente, mediadora, moderadora o de control) y según su nivel (micro, macro y meso) (ver Anexo 3). Teniendo en cuenta esta clasificación fueron seleccionadas 8 variables independientes y con nivel micro con influencia directa en el agente facilitador o cedente. Un último análisis permitió consolidar y depurar algunas variables seleccionadas, de esta manera se fusionaron las que tenían contenidos superpuestos, de esta forma la variable “estrategia” se integró con “modelo de gestión y planificación” e “indicadores de gestión”, conformando la variable unificada “estrategia y planificación de la TT”. A su vez, la variable “cultura de la innovación” se reformuló en “aprendizaje para la TT”, con el fin de precisar su alcance hacia los procesos de generación de conocimiento y fortalecimiento de capacidades en los equipos de transferencia universitaria. Como resultado de este proceso de depuración se definieron seis variables finales (Tabla 7).

En consecuencia, las variables relacionadas con el agente receptor y con el entorno y las transacciones, aunque relevantes, se consideran de carácter meso o macro y quedaron fuera de la selección final, que se consolidó en seis variables independiente asociadas al agente facilitador.

**Tabla 7***Selección final de las variables*

Agente facilitador (Universidad)

1	Estrategia y planificación de la TT
2	Recursos financieros para la TT
3	Tamaño y perfil del equipo de trabajo para TT
4	Incentivos para la TT (De la Universidad)
5	Articulación con la demanda
6	Aprendizaje para la TT

### 3.5 Modelo de Simulación Basado en Agentes

Con el objetivo de estudiar las dinámicas de relacionamiento entre las universidades y las empresas, se utilizó la Modelación Basada en Agentes (MBA), de esta manera se pudo analizar el comportamiento de los agentes partiendo de la definición de un modelo conceptual para el desarrollo de una simulación computacional (Scalco et al., 2018).

La simulación de sistemas complejos como es el caso de las MBA contempla las siguientes etapas según Izquierdo et al, (2008):

**Abstracción:** en esta etapa se realiza un primer modelo que recoge los aspectos más importantes del sistema real, para esto el experto a partir del planteamiento y definición del modelo conceptual identifica los componentes y la interacción entre ellos, incluso las relaciones causales más representativas y los objetos de este.

**Diseño y codificación:** la segunda etapa comprende el diseño y la implementación del modelo formal partiendo de la abstracción realizada.

**Análisis:** después de ejecutada la simulación del modelo, se obtienen resultados que deben ser analizados para mejorar el entendimiento del modelo formal.

**Interpretación:** luego de ser analizados los resultados obtenidos por el modelo, los expertos realizarán una interpretación en contexto frente al modelo formal y el sistema real.

**Aplicación:** esta etapa comprende la implementación de las estrategias y políticas que nacen de los resultados, análisis e interpretación del modelo, en el contexto el sistema real.

Autores como Davis, Eisenhardt y Bingham (2007) describen una hoja de ruta para el desarrollo de teorías utilizando métodos de simulación. Este enfoque define siete pasos a seguir: 1. La definición de la pregunta de investigación con un foco claro desde la teoría; 2. La selección de una teoría simple que responda a la pregunta de investigación; 3. La elección del método de simulación; 4. La creación de la representación computacional; 5. La verificación de la representación computacional; 6. La experimentación para la construcción de una nueva teoría; y 7. La validación con datos empíricos de la simulación.

Davis et al. (2007), menciona que uno de los aspectos más relevantes en el desarrollo de los modelos de simulación es el análisis de sensibilidad, el autor describe tres tipos de análisis, 1. Verificación de proposiciones de la teoría simple; 2. Comprobaciones de la robustez de la representación computacional; y 3. Experimentación para la creación de una nueva teoría.

Siendo entonces la experimentación para la creación de una nueva teoría uno de los análisis de sensibilidad sugeridos en el desarrollo de los modelos de simulación, este análisis comprende tres enfoques:

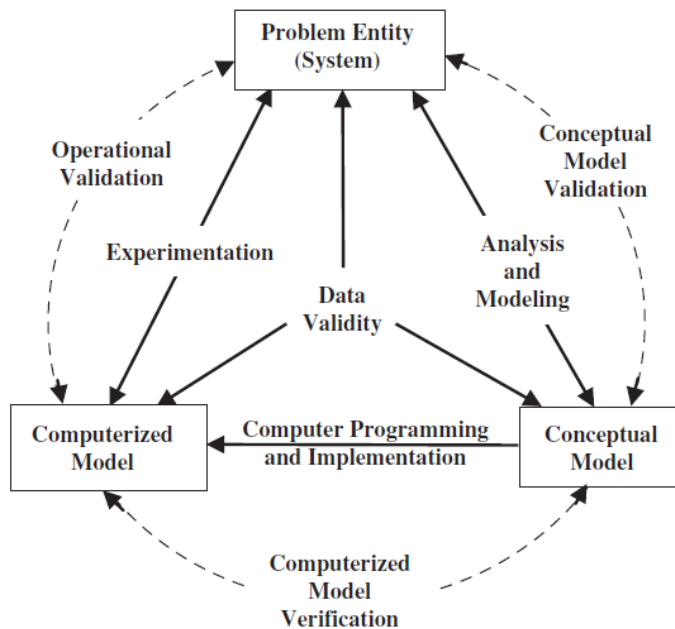
1. Variación del valor de los constructos que se mantienen constantes
2. Desempaquetar o dividir los constructos teóricos
3. Variar los supuestos
4. Añadir nuevas características a la representación computacional

Entre tanto Sargent (2010), menciona la importancia de la verificación y la validación en el desarrollo de los modelos de simulación, definiendo un modelo simplificado del proceso de simulación (Figura 7). En este proceso se distingue la definición de la situación problema, la definición del modelo conceptual y su validación, el modelo computacional y su respectiva verificación, la validación operacional y la validez de los datos como soporte al modelo de simulación, de igual forma describe la experimentación, el análisis del modelo, la programación e implementación computacional como elementos importantes del proceso.

La simulación basada en agentes permite entonces identificar el nivel de relacionamiento de las universidades con las empresas a través de sus procesos de TT, de esta manera en la última fase de la investigación y a partir de los resultados de la simulación se identificaron políticas y estrategias que permitieron proponer acciones de fortalecimiento de los modelos de TT de las universidades.

**Figura 7**

*Versión simplificada del proceso de desarrollo de modelos*



Nota. Tomado de Sargent, R. G. (2010). Verification and validation of simulation models. Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference, 166–183. <https://doi.org/10.1109/WSC.2010.5679166>

Según los enfoques teóricos revisados, tanto la verificación como la validación del modelo conceptual, se realizó teniendo en cuenta los enfoques de Sargent (2010) y Davis et al, (2007), de igual forma se realizó un proceso de experimentación y análisis de sensibilidad a través para la creación de políticas y estrategias, teniendo en cuenta la variación de valores, la división de constructos teóricos, la variación de supuestos y la adición de nuevas características a la representación computacional (Davis et al., 2007b).

### **3.5.1 Estructura del modelo y la simulación**

Con el objetivo de desarrollar un modelo conceptual y computacional preliminar que permitiera evaluar la dinámica de relación entre las universidades y las empresas en los procesos de TT, se llevó a cabo una primera fase en la que se construyó un diagrama de agentes (Tabla 8). Este diagrama facilitó la elaboración del modelo conceptual y el desarrollo del modelo computacional basado en agentes, utilizando Netlogo® (Wilensky, 1999). Este modelo permitió mejorar el contenido y la estructura del

instrumento de recolección de datos, el cual se diseñó a partir de la definición de las variables definidas y las preguntas orientadoras enfocadas a estas variables.

La tabla 8 presenta los tres agentes definidos para la representación del modelo, los cuales fueron categorizados como “razas” en el software Netlogo®. Estos agentes corresponden a universidades, empresas y proyectos de TT. Además, la tabla detalla los atributos y funciones específicas de cada agente en el modelo.

El modelo presenta los proyectos de TT como agentes independientes, dado que constituyen la unidad concreta sobre la cual se materializa la relación universidad-empresa. Su inclusión como agente responde a la necesidad de capturar su dinámica autónoma de creación, evolución, maduración y obsolescencia, aspectos que los convierten en actores activos más que en atributos derivados de las universidades. Esta decisión se sustenta en estudios como el de Yepes (2022), quien modeló proyectos de I+D+i como agentes en NetLogo para analizar su comportamiento en el “Valle de la muerte”, demostrando que su evolución es determinante en los resultados de la TT. Al relacionar como atributos propios de los proyectos el nivel de TRL, ciclo de vida, asignación de recursos y conexión con las universidades, se logra representar los procesos reales de maduración tecnológica y la probabilidad de transferencia, lo que les permite operar como nodos de interacción que median entre las universidades y las empresas.

**Tabla 8**

*Diagrama de agentes*

Agente : Universidad	Agente: Empresa	Agente: Proyecto de TT
<b>Atributos</b>	<b>Atributos</b>	<b>Atributos</b>
Riqueza (Presupuesto disponible)	Riqueza (capital de inversión en proyectos)	Nivel de TRL ( 1- 9)
Aprendizaje en TT del equipo de trabajo	Aprendizaje (experiencia adquirida en alianzas y proyectos)	Presupuesto disponible
Área de influencia (zona geográfica donde opera)	Pasaje (costos asociado a la búsqueda de proyectos viables - TRL ≥ 4)	Tiempo de desarrollo y evolución (TRL)
Capacidad de inversión en proyectos	Capacidad para gestionar y participar en la TT	<b>Funciones</b>
<b>Funciones</b>	Capacidad en trabajo conjunto con universidades (Número de proyectos gestionados al tiempo)	Evolucionar en TRL con inversión por parte de la universidad y las empresas
Definir su área de influencia directa (SRI)	<b>Funciones</b>	Morir después de 15 años y si no logran alcanzar una TRL suficiente quedándose sin recursos
Asignar recursos a proyectos - Riqueza (Inicial y convocatoria)	Buscar proyectos con TRL ≥ 4 para inversión - Crear alianza	Generar aprendizaje para universidades y empresas
Apoyar el desarrollo tecnológico de los proyectos (TRL)	Financiación y alianza para el avance de proyectos	Generar riqueza para universidades y empresas (retorno)
Buscar alianza con empresas	Obtener retorno de inversión cuando TRL ≥ 7.	
	Abandonar el sistema si la riqueza llega a valores negativos o cero	

El modelo conceptual propuesto simula los procesos de TT en las universidades a través de un enfoque de simulación basada en agentes (MBA). Las universidades, como centros generadores de conocimiento, crean proyectos tecnológicos, le asignan recursos iniciales y realizan convocatorias internas periódicas para su financiamiento. Se optó por no incluir convocatorias externas, dado que el objetivo del modelo es representar únicamente los mecanismos internos de asignación presupuestal gestionados directamente por las universidades, sin vincular agentes financiadores externos, sin embargo, es importante mencionar que muchas universidades canalizan recursos externos que luego son utilizados para financiar proyectos en convocatorias internas. Cada universidad cuenta con un área de influencia geográfica directa y fija dentro del entorno simulado en NetLogo®, entendida como el espacio delimitado donde la universidad concentra su mayor interacción y desarrollo de sus proyectos y sobre el cual ejerce su mayor capacidad de gestión y decisión institucional.

Las empresas presentan movilidad en todo el espacio de simulación con el propósito de buscar proyectos con niveles de madurez tecnológica (TRL por sus siglas en inglés) ( $TRL \geq 4$ ). Esta regla se justifica en la literatura sobre TRL, la cual establece que a partir de la TRL 4 las tecnologías han alcanzado una validación en un entorno de laboratorio y se encuentran en condiciones de ser evaluadas para su transferencia a la industria (NASA, 2012; García et al., 2019). Aunque se reconoce que algunas interacciones tempranas pueden favorecer procesos de co-creación (Balconi et al., 2010), en este modelo se priorizó que el punto crítico para la transferencia efectiva iniciará en niveles de TRL intermedios.

Los proyectos tecnológicos avanzan desde la TRL 4 hasta la TRL 9 en función de dos factores: la inversión de recurso financiero asignados por las universidades y las empresas, y la capacidad de gestión de alianzas. Estos elementos han sido identificados en la literatura como determinantes del éxito o fracaso de la TT, en tanto que influyen directamente en el ritmo de maduración tecnológica y en la probabilidad de que un proyecto supere las fases críticas del “Valle de la muerte” (Vermeulen & Pyka, 2016; RailMBack & Grimm, 2019; Yepes, 2022). De esta forma, el modelo incorpora la asignación de riqueza y la cooperación universidad-empresas como los principales impulsores del paso de una tecnología desde la validación experimental hasta su comercialización.

En la simulación los proyectos tienen una TRL máxima de 9 y un ciclo de vida limitado a 15 años, tras lo cual se consideran desactualizados y son reemplazados por nuevos proyectos con TRL inicial a 1. Aunque en la realidad existen tecnologías que se mantienen vigentes durante varias décadas mediante ciclos de mejora continua e innovación incremental, estos procesos no fueron considerados en el modelo con el fin de mantener una representación simplificada pero realista de los procesos de TT en las universidades. En este contexto, la renovación periódica de proyectos refleja la dinámica observada en las

instituciones, donde la caducidad de la propiedad intelectual y los ciclos de financiación condicionan la generación de nuevo conocimiento y el reinicio de procesos tecnológicos.

Cada tipo de agente cuenta con condiciones iniciales: asignación aleatoria de riqueza y nivel de aprendizaje, número de proyectos por universidad, TRL aleatoria para los proyectos que se crean con la simulación, posición y número aleatorios de las empresas y posición y área de influencia aleatoria para las universidades. Además, se incorporaron reglas en el modelo que definen los costos de búsqueda por parte de las empresas, la evolución de la TRL mediante inversión de las universidades y las empresas y los mecanismos de retorno de la riqueza. En el caso de las empresas, cuando su riqueza alcanza valores negativos salen del modelo, dado que pierden la capacidad de invertir en nuevos proyectos o sostener alianzas. Aunque en la práctica podrían existir mecanismos de rescate o nuevas inyecciones de capital, estos no fueron considerados en el modelo por corresponder a dinámicas externas y más complejas de financiamiento. Se optó entonces por una representación simplificada y concreta que refleja la vulnerabilidad financiera de muchas empresas frente a procesos de I+D+i.

En coherencia con los principios de Parsimonia y Navaja de Ockham, el modelo se estructura bajo el criterio de mantener la máxima simplicidad explicativa posible sin comprometer la validez del fenómeno representado (Baker, 2016; Burnham & Anderson, 2022). Se limitaron las variables y relaciones a aquellas estrictamente necesarias para capturar los mecanismos causales fundamentales de la TT en las universidades, priorizando la claridad conceptual y la estabilidad del modelo computacional. Este enfoque responde a recomendaciones como las de Grimm et al. (2010) y Railsback y Grimm (2019), quienes plantean que, en la MBA, los modelos deben conservar una estructura mínima que facilite su interpretación, replicación y capacidad predictiva. En consecuencia, la exclusión de algunas dinámicas adicionales constituye una decisión metodológica orientada a preservar la transparencia, consistencia y relación explicativa del modelo, asegurando un equilibrio adecuado entre realismo y simplicidad (Epstein, 2008; Gilbert & Troitzsch, 2005).

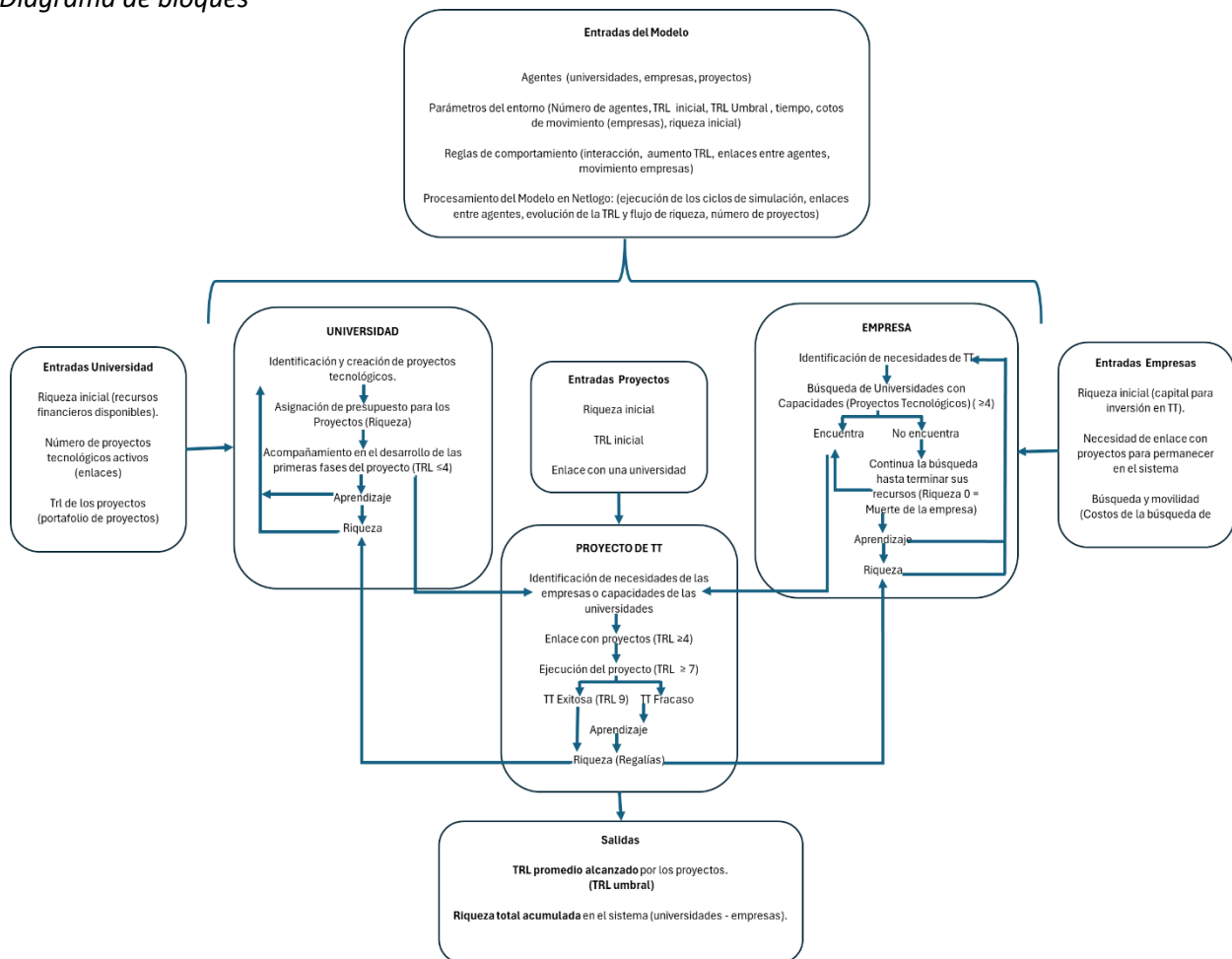
El modelo permite entonces la evaluación de escenarios de simulación estructurados a partir de las variables clave identificadas en la calibración (número de proyectos, TRL umbral y riqueza institucional). Estos escenarios fueron definidos en dos experimentos principales: uno de línea base con una sola universidad y otro con dos universidades en interacción, utilizando niveles (bajo, medio y alto) para cada variable. Esta aproximación permitió no solo analizar el comportamiento de las universidades bajo condiciones contrastantes, sino también identificar patrones emergentes de interacción y los factores más determinantes en la TT.

Los objetivos del modelo se centran en comprender las interacciones de los agentes en el marco de los procesos de TT universitaria, representado en NetLogo<sup>®</sup>. Esta interacción se analiza a través de los proyectos tecnológicos, de esta manera el modelo permite analizar un enfoque de investigación technology Push, donde las universidades generan tecnología desde sus capacidades para suplir las necesidades del mercado, sin un receptor definido (Balconi et al., 2010) y evaluar factores como la inversión, el TRL umbral para la TT y el número de proyectos. Finalmente, se busca utilizar los escenarios de simulación como herramienta de experimentación para explorar el efecto de diferentes configuraciones y a partir de sus resultados, proponer políticas y estrategias orientadas a fortalecer la TT, generando evidencia útil para la toma de decisiones en las universidades.

**Diagrama de bloques:** el diagrama muestra el proceso de interacción de los agentes en el modelo, partiendo de la identificación y creación de los proyectos y su enlace con las universidades, pasando por la definición de alianzas universidad-empresa y la consolidación de la TT, hasta llegar al reinicio del ciclo a través de la generación de riqueza y aprendizaje en el marco de la TT (Figura 8).

**Figura 8**

*Diagrama de bloques*



### 3.5.2 Validación del modelo

La validación de un modelo de simulación implica un proceso sistemático orientado a la garantizar tanto la consistencia computacional como la pertinencia conceptual de la representación diseñada (Sargent, 2013; Gilbert & Troitzsch, 2005). En esta investigación se distinguieron dos etapas complementarias: la verificación y calibración computacional y la validación conceptual y operacional del modelo.

En la fase de verificación y calibración computacional, se comprobó que la codificación en NetLogo® correspondiera fielmente al diseño del modelo conceptual, garantizando que las reglas de interacción, atributos de los agentes y dinámicas emergentes se implementaron sin errores lógicos ni inconsistencias internas. Para este propósito, se revisaron los procedimientos de inicialización, las condiciones de frontera y las rutinas de actualización de las variables, siguiendo las recomendaciones de RailMBAck & Grimm (2019).

En cuanto a la validación, se realizó una revisión de los resultados del modelo a través de la técnica de juicio de expertos (fase validity), siguiendo los lineamientos de Sargent (2013). Para este propósito se evaluaron los resultados obtenidos teniendo en cuenta la interacción de los agentes, las condiciones de los atributos y reglas definidas en el modelo, verificando si representan de manera realista los procesos de TT en las universidades. Esta etapa permitió fortalecer la validez del modelo en dos dimensiones:

- **Validez conceptual**, garantizando que los supuestos y representaciones estén alineados con el conocimiento teórico y empírico del modelo.
- **Validez operacional**, asegurando que las dinámicas emergentes y los comportamientos del modelo mantengan consistencia con los patrones observados en la práctica.

Adicionalmente, se empleó la experimentación computacional como técnica metodológica para explorar la robustez del modelo frente a la variación de los parámetros clave. En este contexto, la experimentación no se concibe como parte de la verificación, sino como una estrategia complementaria que permite analizar la estabilidad del sistema y la sensibilidad de los parámetros. El análisis de sensibilidad, en particular, constituyó un procedimiento importante en esta etapa, dado que permitió observar cómo las variaciones en las condiciones iniciales afectan los patrones emergentes del modelo (Saltelli et al., 2008; Morris, 1991).

En relación con las variables de entrada del modelo, estas fueron definidas a partir de la operacionalización de las seis variables seleccionadas en la fase conceptual, priorizando aquellas cuantificables y directamente manipulables en la simulación. En consecuencia, se definieron tres variables principales que nacen de las variables identificadas en el estudio:

- **Riqueza inicial de las universidades:** Recursos financieros para la TT
- **Número de proyectos gestionados por la universidad:** Estrategia y planificación de la TT
- **TRL umbral** (definido como criterio estratégico para habilitar la transferencia): Estrategia y planificación de la TT

La integración de estos procedimientos permitió garantizar que el modelo no solo sea correcto en términos computacionales, sino también válido en cuanto a su capacidad de representar fenómenos asociados a la TT universitaria. De este modo, la validación se fundamentó en una combinación de verificación y calibración técnica, revisión experta y análisis de sensibilidad, aspectos que permitieron la construcción de políticas y estrategias pertinentes frente a los resultados obtenidos para el fortalecimiento de los procesos de TT en las universidades.

### 3.6 Instrumento de recolección de datos

Las variables que se tuvieron en cuenta para la construcción del instrumento de recolección de datos fueron definidas en la investigación realizada para la construcción del marco teórico y el estado del arte, para esto se revisaron diferentes modelos de TT universitaria y las variables que mostraban su desempeño (Heinz et al. 2013; Feria & Hidalgo, 2011; Necochea et al., 2013). De igual forma se contó con la evaluación por parte de expertos con el objetivo de depurar el número de variables y en una fase posterior la clasificación de variables según su tipología y nivel, quedando 6 variables definidas en la investigación. A partir de estas variables se construyeron las preguntas relacionadas en el instrumento que permitieron recolectar los datos para realizar el análisis descriptivo y multivariado y dieron soporte al modelo de simulación.

Sin embargo se decidió antes de realizar una validación de las preguntas que hacen parte del instrumento de recolección de datos, realizar una construcción de un modelo conceptual y computacional preliminar, con el objetivo de reconocer las variables en el entorno de interacción de los agentes según el modelo de simulación, de esta manera se construyó el modelo conceptual y computacional permitiendo

entender la interacción de los agentes, esto permitió validar las variables y entender mejor que preguntas construir en términos de la recolección de datos que fueran relevantes para la validación del modelo.

En la tabla 9 se muestran las preguntas orientadoras utilizadas para la recolección de datos en una primera fase de construcción del instrumento.

**Tabla 9**

*Preguntas orientadoras*

No.	Pregunta Orientadora
Estrategia y Planificación	
1	¿La universidad cuenta con Oficina de Transferencia Tecnológica (OTT)?
2	Si cuenta con OTT, ¿ésta se encuentra adscrita a qué dependencia?
3	¿La universidad cuenta con un modelo y procesos definidos de Transferencia Tecnológica?
4	¿Cuántas personas trabajan en la OTT?
5	¿Cuál es el nivel de formación de los colaboradores en la OTT?
6	¿Cuáles son las áreas de especialización de los colaboradores en la OTT?
7	¿Cuáles son los incentivos con los que cuenta la universidad para motivar la TT?
8	¿Cuál es el promedio de inversión por año en procesos de TT?
9	Teniendo en cuenta el promedio de inversión por año, ¿cuál es su percepción sobre los recursos financieros destinados por su universidad para la colaboración efectiva en TT?
Capacidad de Gestión en Transferencia Tecnológica	
10	¿Qué mecanismos son los más utilizados por la universidad para realizar TT?
11	¿Cuál es el número de proyectos activos actualmente y su TRL (Nivel de Madurez Tecnológica)?
12	¿Cuál es el nivel promedio de madurez tecnológica (TRL) alcanzado en los proyectos transferidos?
13	¿Percibe usted que los proyectos alcanzan el TRL deseado para una transferencia efectiva?
14	¿Cuál es el promedio de ingresos por regalías recibidas por TT?
15	Valoración del nivel de aprendizaje obtenido en la gestión de la TT
16	¿Cómo valoraría la importancia de la acumulación de conocimiento a través de proyectos de TT?
Relacionamiento con el Sistema Regional de Innovación (SRI)	

No.	Pregunta Orientadora
17	¿Número de proyectos actuales con articulación directa con el sector empresarial?
18	¿La universidad participa en redes, asociaciones o demás agrupaciones del SRI?
19	¿La universidad considera que el SRI cuenta con estrategias o políticas claras para el apoyo a procesos de TT?
20	¿La universidad considera importante que las empresas receptoras de la TT cuenten con capacidad de cooperación entre los actores del Sistema Regional de Innovación para la TT?
21	¿La universidad considera importante la cultura de cooperación entre los actores del Sistema Regional de Innovación?
22	¿La universidad considera importante la relación de confianza entre los actores del Sistema Regional de Innovación?
23	¿La universidad considera importante su credibilidad frente a los actores del Sistema Regional de Innovación?
24	¿Cuál es el alcance geográfico de los proyectos de TT?
25	¿Cuál es el nivel de influencia percibido de la universidad en el entorno de innovación regional?
26	¿Qué políticas o estrategias podrían mejorar el desempeño de los modelos de TT?
Duración y ciclo de vida de los proyectos de Transferencia Tecnológica	
27	¿Cuál es la duración promedio de los proyectos de TT en su fase de desarrollo antes de ser comercializados (Relación universidad - empresa)?
28	¿Cuál es el porcentaje de proyectos de TT discontinuados antes de cumplir sus objetivos?
Interacción y vinculación con el sector empresarial	
29	¿Cuál es el porcentaje de proyectos de TT con vinculación directa con empresas?
30	¿Cuál es la frecuencia de colaboración con empresas en proyectos de TT?
31	Califique la importancia de los siguientes factores para el éxito de las colaboraciones en TT: Alineación de objetivos, transparencia, reciprocidad, confianza y compromiso a largo plazo.

### 3.6.1 Validación del instrumento de recolección de datos

Teniendo en cuenta la fundamentación teórica y la definición preliminar del modelo de MBA y la definición de variables realizada con expertos a través del Ábaco de Régnier, se construyó un grupo de

preguntas que permitieron identificar las dinámicas de interacción de las universidades con las empresas en el marco de sus procesos de TT. Estas preguntas fueron validadas por expertos utilizando el índice de validez de contenido (IVC), esta herramienta estadística permite medir la validez de las preguntas de un cuestionario, a través de un rango cuantitativo (Tabla 9), de esta manera permitió determinar si los ítems que componen un instrumento son representativos y relevantes para medir el constructo que se pretende evaluar (Polit & Beck, 2006; Zamanzadeh et al., 2015). La validez del contenido es una forma de asegurar que las preguntas del instrumento de recolección de datos reflejen adecuadamente el dominio del constructo que se pretende estudiar (Lawshe, 1975) y de esta forma se garantiza la calidad y la confiabilidad de los datos recolectados.

**Tabla 10**

*Descripción de valores estadísticos para el IVC*

<b>Rango IVC</b>	<b>Interpretación</b>	<b>Observaciones</b>
<b>IVC <math>\geq</math> 0.80</b>	Alta validez en el contenido	El ítem es válido, no requiere modificaciones significativas
<b>0.70 <math>\leq</math> IVC &lt; 0.80</b>	Validez moderada, se puede mejorar	Se debe revisar la redacción o precisión del ítem
<b>0.50 <math>\leq</math> IVC &lt; 0.70</b>	Baja validez	Se debe ajustar la formulación del ítem o evaluar su relevancia
<b>IVC &lt; 0.50</b>	Muy baja validez	Se debe considerar eliminar el ítem o reformularlo completamente

Nota. Adaptado de Polit & Beck (2006); Zamanzadeh et al, (2015); Lawshe, (1975).

Para analizar el IVC se definieron cinco expertos en TT en las universidades, de los cuales cuatro completaron en su totalidad el instrumento de validación (ver Anexo 4), los expertos calificaron la relevancia, claridad y pertinencia de cada una de las preguntas, teniendo en cuenta el objetivo de la investigación y el foco en términos de necesidades en la recolección de datos, de esta manera cada experto pudo calificar cada pregunta en una escala de 1 a 5, siendo el primero muy bajo y el segundo muy alto.

Después de compilar las calificaciones se calculó el IVC, según Polit y Beck (2006), un índice igual o superior a 0.80 indica que el ítem tiene una validez de contenido adecuada, en caso de que el valor sea inferior, se sugiere ajustar la redacción o enfoque de la pregunta eliminarla para mejorar la calidad del instrumento, de esta manera el IVC justifica la calidad y pertinencia de la pregunta y del instrumento de

recolección de datos, asegurando que el análisis sea válido y este alienado con el objetivo de la investigación fortaleciendo de esta manera la robustez metodológica (Zamanzadeh, et al., 2015).

Posterior a la evaluación por parte de los expertos y el análisis del IVC de cada una de las preguntas propuestas, se intervinieron las preguntas 6, 20 y 23 las cuales habían presentado niveles bajos de relevancia, claridad y pertinencia de igual forma se tuvieron en cuenta las recomendaciones generales de los expertos para mejorar el instrumento de recolección de datos, reformulando, cambiando, y adicionando preguntas, en el Anexo 5 se relaciona el instrumento final utilizado para la recolección de datos.

El promedio general del IVC de todas las preguntas en su mayoría es superior a 0.80 lo que da una validez en la calidad general del instrumento de recolección de datos (Tabla 10.)

**Tabla 11**

*Índice de validación de Contenido del instrumento de recolección de datos*

<b>Pregunta</b>	<b>Relevancia (promedio)</b>	<b>Claridad (Promedio)</b>	<b>Pertinencia (Promedio)</b>	<b>IVC Relevancia</b>	<b>IVC Claridad</b>	<b>IVC Pertinencia</b>	<b>IVC General</b>
<b>P1</b>	4.75	4.75	4.5	0.95	0.95	0.9	0.93
<b>P2</b>	3.5	5	4.25	0.7	1	0.85	0.85
<b>P3</b>	5	4.75	5	1	0.95	1	0.98
<b>P4</b>	3.5	4.75	3.75	0.7	0.95	0.75	0.8
<b>P5</b>	3.5	4.5	3.75	0.7	0.9	0.75	0.78
<b>P6</b>	3.25	4.5	3	0.65	0.9	0.6	0.72
<b>P7</b>	4.25	4.5	4.75	0.85	0.9	0.95	0.9
<b>P8</b>	4.75	4	5	0.95	0.8	1	0.92
<b>P9</b>	4.75	3.25	4.75	0.95	0.65	0.95	0.85
<b>P10</b>	4.75	4	4.75	0.95	0.8	0.95	0.9
<b>P11</b>	4.75	4	4.75	0.95	0.8	0.95	0.9
<b>P12</b>	4.75	4.75	4.75	0.95	0.95	0.95	0.95
<b>P13</b>	4.5	4.25	4.75	0.9	0.85	0.95	0.9
<b>P14</b>	4.5	4	4.5	0.9	0.8	0.9	0.87
<b>P15</b>	4.75	3.25	4.5	0.95	0.65	0.9	0.833
<b>P16</b>	4	3.25	4.25	0.8	0.65	0.85	0.77

Pregunta	Relevancia (promedio)	Claridad (Promedio)	Pertinencia (Promedio)	IVC Relevancia	IVC Claridad	IVC Pertinencia	IVC General
P17	4.25	4.5	4.25	0.85	0.9	0.85	0.87
P18	4.5	4.5	4.25	0.9	0.9	0.85	0.88
P19	4.25	4.25	3.75	0.85	0.85	0.75	0.82
P20	3.75	3	3.5	0.75	0.6	0.7	0.68
P21	4	4.75	4	0.8	0.95	0.8	0.85
P22	3.75	4.5	3.75	0.75	0.9	0.75	0.8
P23	3	4	3	0.6	0.8	0.6	0.67
P24	4	5	4.75	0.8	1	0.95	0.92
P25	4.25	3.75	4.25	0.85	0.75	0.85	0.82
P26	4	4.25	4	0.8	0.85	0.8	0.82
P27	3.75	5	4.25	0.75	1	0.85	0.87
P28	4.75	4.5	5	0.95	0.9	1	0.95
P29	5	4.75	5	1	0.95	1	0.98
P30	5	5	5	1	1	1	1
P31	3.667	4.333	3.667	0.733	0.867	0.733	0.78

### 3.6.2 Instrumento de validación del modelo

La validación del modelo del modelo conceptual y computacional basado en agentes se realizó siguiendo las recomendaciones metodológicas propuestas por Sargente (2013), quien plantea que la validación constituye un proceso esencial para establecer la credibilidad, adecuación y precisión de un modelo de simulación respecto al sistema real que pretende representar. De acuerdo con este enfoque, la validación integro tanto la revisión conceptual del modelo, evaluando las correspondencias de los supuestos, variables y relaciones de los agentes, tanto la verificación operacional de su comportamiento mediante juicio de expertos.

La validación entonces se abordó mediante la técnica de juicio de expertos, orientada a comprobar la coherencia y representatividad del modelo conceptual y computacional frente a los procesos reales de TT universitaria. Para ello, se diseñó y aplico un instrumento estructurado tipo encuesta, en el que se

solicitó a expertos con experiencia en gestión de la innovación y TT en las universidades, evaluar la validez de los supuestos y reglas de comportamiento del modelo.

El cuestionario, construido se estructuró mediante preguntas dicotómicas con respuestas de sí o no, acompañadas de una escala de valoración tipo Likert de 1 a 5, con el propósito de cuantificar el grado de validez percibido en cada supuesto del modelo. Las afirmaciones presentadas a los expertos evaluaban aspectos como la pertinencia de los agentes definidos (universidad, empresa, proyectos), la validez de los atributos incorporados, la consistencia de las reglas de interacción y la correspondencia de los resultados emergentes con las dinámicas reales de los procesos de TT universitaria (ver anexo 6).

De esta forma, la aplicación del instrumento permitió determinar, con base en el juicio de expertos, si las representaciones y comportamientos incluidos en el modelo de simulación reflejaban de manera adecuada la realidad del fenómeno estudiado, fortaleciendo la validez conceptual y operativa del modelo.

### **3.6.3 Recolección de datos**

Finalizada la construcción y validación del instrumento de recolección de datos, este fue aplicado en las universidades objeto de estudio: tres en el departamento de Risaralda y cuatro de las seis propuestas en Antioquia. A pesar de los esfuerzos realizados, no fue posible obtener información de dos universidades de esta última región, una justificó su no participación debido a que toda su área de TT se encontraba en proceso de reestructuración y, por lo tanto, estaba inactiva, en el otro caso, no se logró establecer contacto con los responsables del área de TT. No obstante, las cuatro universidades que sí participaron en Antioquia corresponden a instituciones con amplia trayectoria y capacidades consolidadas en procesos de TT, lo que las convierte en una muestra representativa para el análisis. En este sentido, los datos e información recolectada resultaron adecuados para sustentar la validación del modelo y la formulación de políticas y estrategias para el fortalecimiento de la TT en las universidades.

Adicionalmente, como parte del proceso metodológico, se aplicó un instrumento de validación del modelo de simulación basado en agentes, elaborado bajo el enfoque de Sargent (2013) y orientado a verificar la validez conceptual y operativa del modelo propuesto. Este instrumento fue diligenciado por tres expertos en TT universitaria, todos con amplia experiencia en el desarrollo y acompañamiento de procesos de transferencia que involucran la relación universidad-empresa. La validación se realizó mediante una encuesta estructurada, en la cual los expertos evaluaron la coherencia de los supuestos, las reglas de comportamiento y los resultados emergentes del modelo

### **3.6.4 Fuentes de datos**

Con el fin de desarrollar los objetivos planteados en la investigación se tendrán en cuenta fuentes primarias y secundarias las cuales se describen a continuación:

#### **Fuentes primarias:**

- Oficinas de TT de las Universidades objeto de estudio o instancia encargada de los procesos de TT, expertos para la validación del modelo.

#### **Fuentes secundarias**

- Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia
- Superintendencia de Industria y Comercio (Colombia)
- Observatorio de ciencia, tecnología e innovación
- Ministerio de educación de Colombia
- Bases de datos (Scopus – WoS)
- Datos e información pública disponible de las regiones y universidades objeto de estudio

### **3.6.5 Análisis de los datos recolectados**

Los datos recolectados fueron analizados mediante una combinación de técnicas estadísticas descriptivas y multivariadas. En esta última categoría se aplicaron correlaciones de Pearson para explorar relaciones lineales entre variables, análisis de componentes principales (PCA por sus siglas en inglés) para reducir la dimensionalidad y detectar patrones latentes, y análisis multivariado de varianza (ANOVA) para contrastar diferencias significativas entre grupos de universidades. Estas técnicas fueron seleccionadas por su pertinencia frente a los datos recolectados de las universidades y frente al objetivo del estudio. Los resultados de estos análisis constituyeron un insumo para refinar el modelo de simulación basado en agentes (MBA), desarrollado en NetLogo®.

Los resultados del análisis de los datos, proceso de validación del modelo conceptual y el modelo de simulación basado en agentes permitieron definir y estructurar políticas y estrategias para el fortalecimiento de los procesos de TT en las universidades.

### ***3.6.6 Consideraciones éticas***

La recopilación de los datos se realizó en algunos casos de manera presencial y en otros de manera virtual, cumpliendo con las sugerencias y recomendaciones éticas en la aplicación de instrumentos de recolección de datos, las cuales incluyen un enfoque científico del instrumento, fiabilidad y validez en la recolección y análisis de los datos, herramientas científicamente aceptadas que eviten métodos y enfoques que induzcan a errores en los participantes, confidencialidad en los nombres y datos de las universidades, realizando un análisis agrupados de los datos y en ningún momento un análisis particular, ranking o comparación entre universidades. En todos los casos se contó con un consentimiento informado, garantía de confidencialidad y anonimato en el tratamiento de los datos recolectados.

#### 4 Capítulo 4. Resultados y discusión

La población objeto de estudio en la investigación son las Instituciones de Educación Superior (IES), categorizadas como universidades, según la ley 30 de 1992 del Ministerio de Educación Nacional, ubicadas en los departamentos de Antioquia y Risaralda. Estas regiones han sido seleccionadas dado su clasificación en el Índice de Innovación Departamental para el año 2021, con un desempeño alto y medio-alto, respectivamente (DANE, 2022). Esto evidencia un entorno favorable para el desarrollo de capacidades institucionales en las universidades alrededor de los procesos de TT.

Para comprender las capacidades de las universidades involucradas en la investigación en materia de TT, se realizó un análisis de modelos internacionales consolidados que muestran cómo los niveles de innovación nacional y regional impactan de manera directa las capacidades de las universidades para gestionar y transferir tecnología al entorno empresarial. Un caso relevante es el presentado por las universidades e instituciones de investigación en los Estados Unidos y Canadá que lograron introducir para el año 2023, 174 nuevos productos comerciales al mercado, alcanzado un récord histórico con 104 mil millones de dólares invertidos en investigación, una de las cifras más altas registradas en los últimos 30 años del informe sobre transferencia tecnológica de la Association of University Technology Managers (AUTM) para el año 2023.

Estos resultados demuestran cómo los sistemas nacionales y regionales de innovación consolidados, como en el caso de EE. UU. y Canadá, actúan como facilitadores clave para que las universidades fortalezcan sus procesos de TT. En este sentido autores como Valencia (2023), enfatizan que las universidades que hacen parte activa de sistemas de innovación dinámicos y bien estructurados logran establecer mejores y más efectivos vínculos con el sector empresarial, gracias a infraestructura adecuada, políticas de apoyo a la I+D+i y una cultura empresarial favorable frente a la adopción de nuevas tecnologías. De esta forma sistemas nacionales como los de EE. UU. y Canadá muestran cómo una mayor capacidad caracterizada por una mayor inversión en investigación y desarrollo, una presencia activa de empresas innovadoras y políticas y estrategias claras en propiedad intelectual y explotación comercial de tecnologías se traduce en un mayor número de patentes, licencias, spin off y otros resultados transferibles de conocimiento (Valencia, 2023; Heartland, 2022). En esta dirección, la interacción entre las capacidades de las universidades en TT y su relación con el sector empresarial, resultan fundamentales para el éxito en el desempeño de la TT por parte de las universidades.

De forma complementaria, el Milken Institute (2017) desarrolló el *University Technology Transfer and Commercialization Index*, este ranking evalúa el desempeño de las universidades alrededor de su TT a

partir de indicadores claves como número de patentes, licencias, ingresos por licencias y creación de nuevas empresas. Este informe muestra que universidades como Utah, Columbia y Florida lideran el ranking debido a sus estructuras organizacionales orientadas a la especialización en TT, contando con oficinas fortalecidas, políticas claras de propiedad intelectual y alianzas estratégicas con el sector empresarial (Milken Institute, 2017). Sin embargo, un análisis más completo sugiere que estas universidades no sólo destacan por sus capacidades internas, sino también por estar inmersas en regiones que lideran la innovación en Estados Unidos, tales como Salt Lake City, Nueva York y Florida, territorios que figuran con mayores niveles de inversión en I+D, desarrollo empresarial y formación especializada de talento humano (World Intellectual Property Organization, 2023).

Para el año 2020, Heartland Forwars, presentó el estudio *Research to Renewal: Advancing University Tech Transfer*, donde se evaluó a las universidades de Estados Unidos en función de su éxito en la comercialización de resultados de investigación y su impacto económico, destacando la Universidad de Florida, como una de las principales instituciones con mejor desempeño en TT y retorno económico, esto debido a su enfoque estratégico hacia la vinculación con el sector empresarial y a la definición de políticas internas que facilitan la creación de startups. Este estudio resalta cómo las universidades pueden contribuir directamente al desarrollo económico de un territorio a través de la TT efectiva al sector productivo.

Estos casos apoyan la hipótesis de que las regiones con mayor desarrollo tienden a potenciar las capacidades de las universidades en TT, aspecto por el cual las regiones de Antioquia y Risaralda, dado su dinamismo en procesos de innovación se consideran departamentos relevantes para el desarrollo de la presente investigación. Por lo tanto, el análisis de los procesos de la TT de las universidades que tienen operación en estos departamentos busca entender las dinámicas de relación con las empresas y definir políticas y estrategias que fortalezcan los procesos de TT de cada una de universidades, reconociendo de esta manera las particularidades, realidades y capacidades de cada uno de los territorios.

Para el caso específico de Antioquia, se seleccionaron las universidades con mayores capacidades en términos del número de grupos de investigación reconocidos por Minciencias, de esta manera las universidades selección fueron: la Universidad de Antioquia, La Universidad Nacional (Sede Medellín), la Universidad EAFIT, la Universidad Pontificia Bolivariana, la Universidad de Medellín y la Universidad CES. Sin embargo, no fue posible recolectar datos de dos de estas universidades, dado que una de ellas se encontraba en proceso de reestructuración de su oficina de TT por lo cual sus procesos no se encontraban activos y en la segunda universidad no fue posible recolectar los datos pese a que se intentó en varias ocasiones concretar una reunión con la persona encargada del área de TT.

En cuanto a Risaralda, se seleccionaron tres universidades: la Universidad Tecnológica de Pereira, la Universidad Libre (Seccional Pereira) y la Universidad Católica de Pereira, estas instituciones representan las universidades con mayor número de grupos de investigación reconocidos por Minciencias por lo tanto tienen un mayor potencial en términos de capacidades para transferir tecnología. En total, se logró recolectar datos e información de siete universidades, permitiendo de esta forma una muestra adecuada para realizar un análisis estructurado en la investigación.

#### **4.1 Análisis de los datos**

Después de revisar cada una de las variables seleccionadas y partiendo del constructo que la estrategia debe establecer el direccionamiento estratégico el cual debe estar enfocado en la TT y este a su vez define el modelo de gestión y planificación el cual debe contar con indicadores de gestión adecuados, se tomó la decisión de unificar estas variables en una sola denominada “Estrategia y planificación de la TT”. Por otra parte y después de revisar con expertos la variable “Cultura de la innovación entre los investigadores y la comunidad universitaria” y teniendo en cuenta las complejidades teóricas ligadas a concepto “Cultura”, desde un enfoque de la investigación y la TT, se decidió focalizar esta variable en “aprendizaje para la TT”, de esta manera se logró mayor claridad y especifica los procesos de generación de conocimiento en los equipos de trabajo de las áreas de TT en las universidades, a continuación se describen las seis variables finales que se tendrán en cuenta en la investigación:

1. Estrategia y planificación de la TT
2. Recursos financieros para la TT
3. Tamaño y perfil del equipo de trabajo para la TT
4. Incentivos para la TT (Universidad)
5. Articulación con la demanda
6. Aprendizaje para la TT

##### **4.1.1 Análisis descriptivo de los datos**

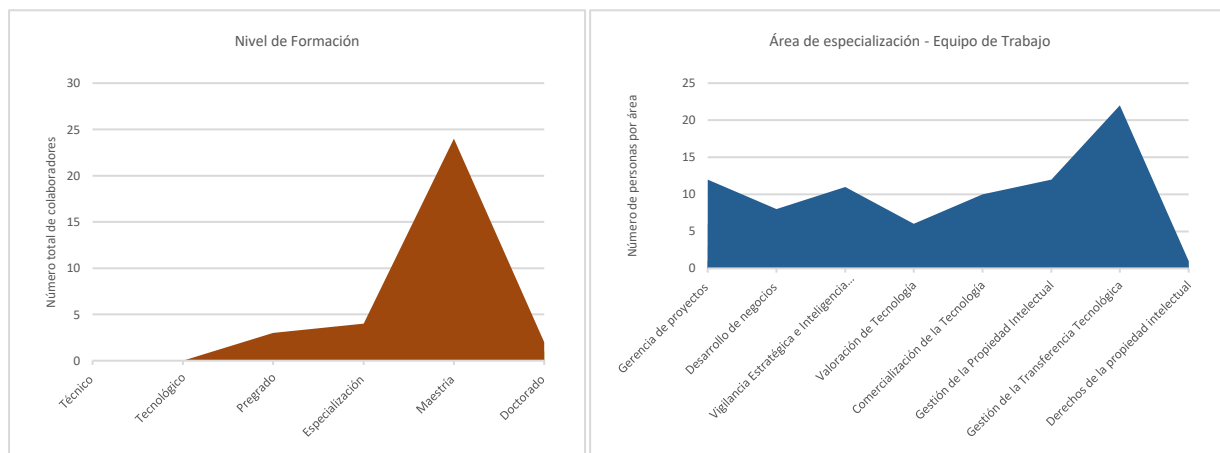
Todas las universidades encuestadas disponen de una oficina de TT activa o área que cumple esta función. Asimismo, todas cuentan con modelos o procesos de TT estructurados, los cuales en su mayoría están adscritos a Vicerrectorías o Direcciones de Investigación, Innovación y Extensión. Este hecho

evidencia que la TT se ha venido consolidando cada día más como un componente estratégico en el desarrollo y crecimiento de las universidades, no solo desde su misión de generar, apropiar y transferir conocimiento, sino también como un mecanismo para diversificar las fuentes de ingresos.

En términos de capacidades desde la estrategia y planificación de recursos, equipo de trabajo e incentivos en procesos de TT se encuentra una diferencia en el número de personas que hacen parte del área de TT, encontrando universidades que solo cuentan con un colaborador mientras que la mayoría cuenta con cinco o seis colaboradores. En todos los casos las personas que hacen parte de los equipos de trabajo son profesionales, con especialización y en mayor medida con maestría, la Figura 9 muestra los niveles de formación y las áreas de especialización de los colaboradores en el proceso de transferencia.

**Figura 9**

*Formación y área de especialización equipos de trabajo TT*



La mayoría de las universidades analizadas cuentan con personas en sus equipos de trabajo con experiencia y conocimientos en la gestión de la TT, incluyendo perfiles profesionales con formación especializada en áreas como gestión de la innovación, desarrollo tecnológico y procesos de comercialización de tecnologías y en algunos casos, también se identifican colaboradores con formación en propiedad intelectual (PI), como complemento de otros conocimientos, aunque en la mayoría de la universidades los asuntos de PI suelen ser manejados por profesionales especializados en esta área (Figura 9). Solo en dos universidades todos los colaboradores del área de TT dominan diversos temas de transferencia, focalizando de esta manera la gestión en pocas personas, a excepción de los temas de PI, aspectos en el cual buscan apoyo en expertos externos o profesionales especializados.

Este panorama coincide parcialmente con lo observado en otros contextos, donde también se identifican retos comunes relacionados con la estructura y capacidades de las oficinas de TT. Según Morales Vilha et al. (2018), las universidades enfrentan desafíos significativos para fortalecer los mecanismos de gestión de la PI, consolidar alianzas estratégicas con el sector industrial y estructurar indicadores de desempeño claros para evaluar sus actividades de transferencia. Esto sugiere que, aunque las universidades en Antioquia y Risaralda cuentan con equipos de trabajo especializados, podrían enfrentar limitaciones similares en términos de profundizar capacidades técnicas, especialmente en PI y en articular de manera efectiva su oferta tecnológica con las necesidades determinadas por las demandas del sector empresarial.

Por otra parte, Maresova et al. (2019), menciona que las oficinas de TT desempeñan un papel fundamental como intermediarias entre los investigadores y la industria, gestionando los procesos de patentamiento, licenciamiento y comercialización de tecnologías. Si embargo estos autores también enfatizan que no existe un modelo único o universal de TT y aunque las oficinas de TT son las áreas responsables de la materia de las funciones de comercialización de tecnología en los países desarrollados. Esto indica que, aunque en las universidades estudiadas se reconoce la importancia de contar con equipos especializados, es necesario fortalecer aún más estas dependencias para alinearlas con los estándares y prácticas globales en TT, especialmente en lo relacionado con PI y comercialización de tecnologías. Según Maresova et al. (2019), las oficinas de TT a nivel internacional enfrentan importantes desafíos para profesionalizar sus procesos y lograr un equilibrio adecuado entre las funciones de PI, licenciamiento, comercialización y promoción de alianzas estratégicas con el sector empresarial. Por su parte Morales et al. (2018) sostiene que, aunque las oficinas de TT también tienen limitaciones con la definición de indicadores claros de desempeño.

Entretanto Garnica y Torkomin (2009), analizaron la experiencia en Brasil, destacando que en contextos latinoamericanos las oficinas de TT requieren, además de una formación técnica, un entorno institucional que incentive la participación de los investigadores, políticas claras de apoyo, una cultura universitaria orientada a la innovación y la colaboración con el entorno empresarial. Esto muestra que en contextos latinoamericanos como es el caso de Colombia las Oficinas de TT no solo dependen del conocimiento y experiencia de los equipos técnicos, sino también de condiciones institucionales y políticas claras que favorezcan la relación universidad-empresa y el reconocimiento de la transferencia como una función importante para las universidades.

En cuanto a los incentivos utilizados por las universidades para fomentar el desarrollo de investigación que lleven a la generación de proyectos con potencial de ser transferidos, la mayoría de las

universidades otorgan regalías sobre los proyectos transferidos, con la excepción de una universidad que no cuenta con este tipo de incentivo según sus políticas de TT. El segundo mecanismo más utilizado es la descarga en la agenda docente, lo que implica la reducción de horas de docencia directa para que los investigadores se puedan enfocar más en los proyectos. En tercer lugar, se encuentra el reconocimiento en el escalafón docente, el cual conlleva beneficios salariales directos. En cuarto lugar, solo dos universidades ofrecen bonificaciones salariales directas como incentivo y una universidad otorga reconocimiento público como componente adicional para el investigador.

Con relación a los niveles de inversión promedio por año en los procesos de TT, los datos recolectados muestran una alta heterogeneidad en la asignación de recursos por parte de las universidades. Solo dos universidades invierten entre 50 y 100 millones de pesos, dos entre 100 y 500 millones y dos destinan más de 500 millones de pesos anuales, mientras que solo una universidad reporta una inversión modesta entre 10 y 50 millones de pesos. No obstante, la percepción en cuanto a la suficiencia de los recursos presenta una brecha importante en las opiniones, mientras cuatro universidades consideran que la inversión es adecuada, tres perciben que es insuficiente, destacando limitaciones para cubrir todos los procesos necesarios, especialmente en actividades relacionadas con la PI y comercialización de tecnologías. La opinión sobre la insuficiencia no estuvo meramente concentrada en las universidades con bajo nivel de inversión, algunas de las universidades con inversión alta desde el punto de vista de los datos consideraron que los recursos son insuficientes debido al número de proyectos y condiciones para la comercialización de tecnologías.

Esta situación refleja un problema ya identificado en la literatura, donde se reconoce que los niveles de inversión en TT están directamente relacionados con la capacidad de las universidades de dinamizar procesos efectivos de TT. Además, algunos estudios señalan que la ausencia de incentivos económicos y académicos suficientes limitan la capacidad de las universidades para movilizar los resultados de investigación hacia el mercado (Abbas et al., 2023). De hecho, aunque algunas universidades logren establecer mecanismos de financiación sostenida para la TT, en muchos casos, los bajos niveles de inversión se acompañan de falta de estímulos claros para los investigadores, lo que impacta negativamente la motivación para participar en procesos de TT (Hayter & Link, 2023).

Por otra parte, estudios como el de Tshikovhi et al., (2020) mencionan que los incentivos financieros y no financieros son determinantes para promover la participación de los investigadores en procesos de transferencia de conocimiento y tecnología, siendo especialmente relevantes aquellos que reconocen y valoran la TT dentro de la carrera académica. Entre estos incentivos, se destacan bonificaciones por patentes licenciadas, participación en regalías, reconocimientos académicos y apoyo

institucional para el desarrollo de spin-off o startups (Tshikovhi et al., 2020). Sin estos mecanismos de incentivo, los esfuerzos de transferencia tienden a depender exclusivamente del interés individual de algunos investigadores, lo que limita el alcance y la sostenibilidad de la TT.

Por lo tanto, aunque algunas universidades involucradas en la investigación perciban como adecuada la inversión actual en TT, los niveles reportados, en su mayoría inferiores a 500 millones de pesos anuales, sugieren una capacidad limitada para cubrir de manera integral los procesos que comprenden desde la identificación de oportunidades, protección de la PI, hasta la comercialización y acompañamiento en los procesos de absorción por parte de las empresas receptoras de la tecnología. Además, la ausencia de un sistema sólido de incentivos para investigadores y gestores de la TT puede estar restringiendo el impacto de estas inversiones, tal como ha sido identificado en otros contextos internacionales (Abbas et al., 2023; Hayter & Link, 2023).

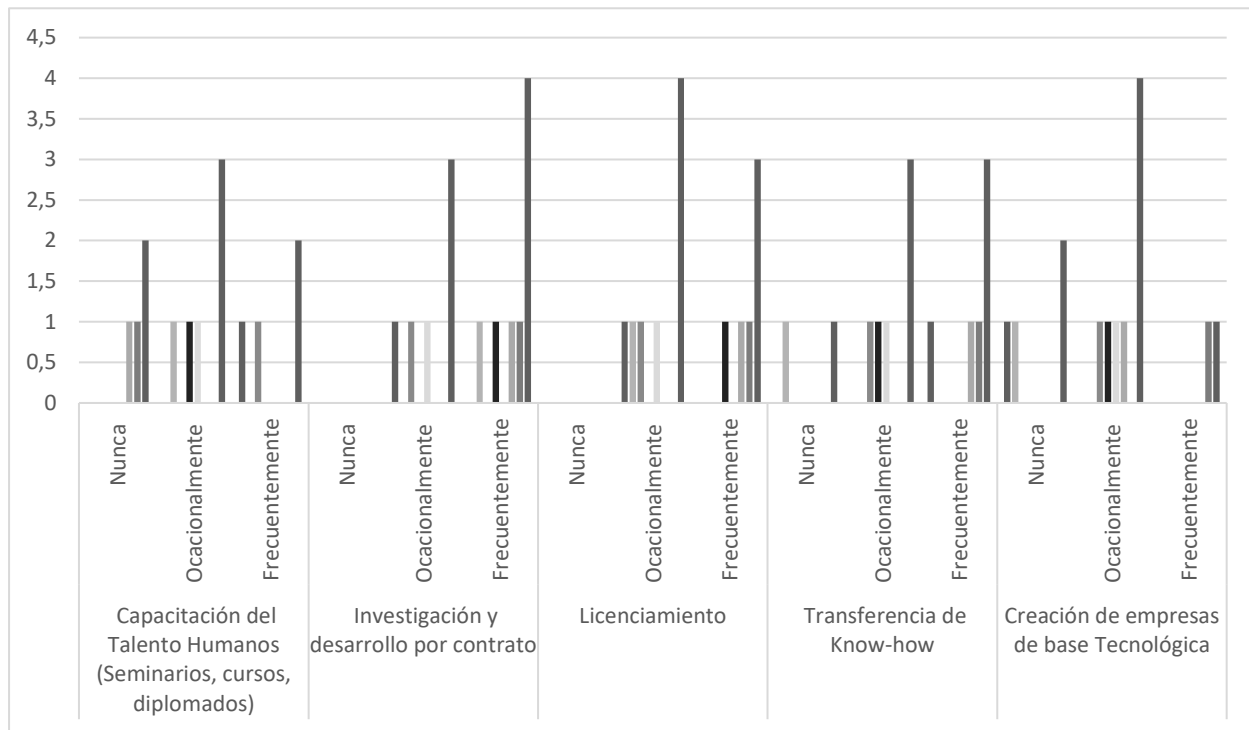
Por lo anterior, fortalecer las capacidades de TT en las universidades no solo implica aumentar los niveles de inversión, sino también establece políticas claras de incentivos para investigadores, incluyendo reconocimiento académico, participación de los beneficios económicos derivados de las tecnologías transferidas y apoyo institucional para el emprendimiento académico, tal como se muestra en algunas prácticas internacionales en cuanto a la gestión de la TT.

La Figura 10, muestra los mecanismos más utilizados por las universidades encuestadas para realizar la TT. Se evidencia una marcada actividad en investigación y desarrollo por demanda, así como en licenciamiento. Solo dos universidades incluyen la capacitación del talento humano como un mecanismo de TT, mientras que en las demás, estas actividades son realizadas por el área de extensión en procesos de formación. El tercer mecanismo más empleado es la transferencia de Know-how y únicamente una universidad ha desarrollado proyectos exitosos y recurrentes en creación de empresas de base tecnológica. Además, cuatro universidades realizan actividades ocasionales en torno a este mecanismo.

En todos los casos, las universidades destacan la importancia de contar con un aliado en el sector empresarial para el desarrollo de proyectos desde una fase inicial (TRL 1 y 2), que esto aumenta la probabilidad de éxito en el proceso de TT.

**Figura 10**

*Mecanismos utilizados por la Universidades para realizar transferencia tecnológica*



En cuanto al reconocimiento de la universidad en el sistema regional de innovación, todas las universidades tanto de Antioquia como de Risaralda participan en redes, asociaciones u otras agrupaciones dentro de su región. Sin embargo, consideran que el entorno carece de estrategias y políticas claras que respalden los procesos de TT.

Respecto a la interacción universidad-empresa, todas las universidades coinciden en la importancia de fomentar una cultura de cooperación, de construcción de relaciones de confianza entre los actores y de fortalecer el posicionamiento la credibilidad de la universidad dentro del sistema regional de innovación.

Las universidades destacan la necesidad de fortalecer las políticas y estrategias que optimicen el desempeño de los modelos y procesos de TT. Para ello, consideran fundamental, un mayor financiamiento gubernamental, el fortalecimiento de las oficinas de TT en las universidades, el desarrollo de programas de formación especializada en TT, la mejora en la gestión de la PI y un mayor impulso a la cultura de la innovación y el emprendimiento.

En cuanto a los factores de éxito en las colaboraciones universidad-empresa, las instituciones resaltan la importancia de alinear los objetivos entre los actores, garantizar la transparencia en las negociaciones, promover el intercambio de conocimiento, fomentar la confianza mutua y el compromiso

a largo plazo, así como contar con la capacidad necesaria para la implementación, validación y comercialización de los desarrollos tecnológicos.

#### **4.1.2 Análisis multivariado de los datos**

Con el fin de analizar de manera más estructurada los datos obtenidos por parte de las universidades y con el fin de establecer hallazgos que puedan enriquecer la discusión sobre los procesos de TT, se aplicaron diferentes técnicas de análisis multivariado. En particular, se utilizó la correlación de Pearson para identificar relaciones entre variables y el análisis de componentes principales (PCA) para reducir la dimensionalidad y explorar patrones latentes. Estas técnicas permitieron examinar de manera simultánea múltiples factores y sus interacciones, aportando una mejor comprensión de los fenómenos complejos (Hair et al., 2019). El procesamiento estadístico se realizó en el software JASP® (versión 0.19.3.0), herramienta estadística de código abierto que facilitó la implementación de estos análisis dada su interfaz intuitiva y su base robusta de métodos estadísticos avanzados (Love et al., 2019).

Se utilizó la correlación de Pearson (“Pearson’s  $r$ ”), como técnica estadística para analizar la fuerza y dirección de las relaciones lineales entre variables cuantitativas, mientras que los valores  $p$  (“ $p$ -valor”) permitieron establecer la significancia estadística de dichas asociaciones (Field, 2018). Esta técnica, complementada con los demás análisis multivariados aplicados, fortaleció la validez de los hallazgos y permitió garantizar la replicabilidad de los resultados de la investigación.

**4.1.2.1 Capacidades de investigación frente a tecnologías y su TRL.** La relación entre el número de grupos de investigación de las universidades y los niveles de madurez tecnológica (TRL) de los proyectos se analizó considerando que los grupos de investigación constituyen, según la política pública en Colombia una condición de la capacidad institucional en I+D para las universidades (Colciencias, 2015; Minciencias, 2022). Este enfoque permitió observar cómo las capacidades de investigación de las universidades inciden en el avance de sus tecnologías hacia niveles de madurez más altos y en consecuencia, en la efectividad de los procesos de TT. El análisis reconoce, además, que esta relación puede estar influenciada por la composición de los grupos de investigación, ya sea con mayor presencia de investigación básica o aplicada, lo que puede repercutir directamente en la orientación y potencial de la transferencia de los proyectos. Los hallazgos derivados de la correlación buscan aportar evidencia sobre el papel de las capacidades investigativas en la consolidación de tecnologías transferibles al sector productivo (Tabla 12).

Se observa que existe una correlación positivamente moderada y significativa entre el número de grupos de investigación y los TRL intermedios, específicamente TRL 3 y 4 ( $r=0.827$ ,  $p=0.022$ ;  $r=0.948$ ,  $p=0.001$ ). Esto sugiere que el mayor número de grupos de investigación está asociado con un avance en los procesos de madurez tecnológica (TRL), por lo menos hasta las etapas intermedias de desarrollo tecnológico.

Sin embargo, la correlación entre el número de grupos de investigación y los TRL superiores (TRL 6 -9) es menos consistente. Si bien algunas asociaciones son positivas, los valores de “p” sugieren que estas relaciones no siempre son estadísticamente significativas. Este hallazgo coincide con estudios que señalan que, aunque la investigación académica es crucial en las etapas iniciales del desarrollo tecnológico, la transición hacia niveles más altos de madurez requiere un mayor grado de validación experimental y de colaboración con la industria (NASA, 2012; Héder, 2017; García et al., 2019).

Otro aspecto relevante es la ausencia de correlación significativa entre el número de grupos de investigación y el TRL 9 ( $r=0.052$ ,  $p=0.912$ ), este hallazgo muestra que un mayor número de grupos de investigación, por sí solo, no garantiza la generación de tecnologías que puedan alcanzar niveles TRL óptimos para la TT. Algunos estudios señalan que, para alcanzar niveles altos de TRL, suele requerirse mecanismos adicionales, como la conformación de alianzas tempranas con empresas y procesos institucionales de TT que faciliten la transición hacia la aplicación adecuada (Etzkowitz & Leydesdorff, 2000).

Los resultados en este cruce de variables sugieren que un mayor número de grupos de investigación en las universidades contribuye de manera positiva al avance tecnológico en etapas iniciales e intermedias, pero que la transición hacia niveles superiores de TRL requiere de otros actores adicionales, tales como la participación del sector empresarial y un mayor apoyo institucional. Esto implica que las políticas y estrategias de investigación deben estar no solo orientadas a fomentar la creación de grupos, sino también a fortalecer los procesos de TT y la colaboración universidad-empresa.

**Tabla 12**

*Correlación número de grupos de investigación VS tecnologías y su TRL*

Variable		Número de grupos de investigación n	TRL 1	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 6	TRL 7	TRL 8
1. Número de grupos de investigación n	Pearson' s r	—								
	p-value	—								
2. TRL 1	Pearson' s r	-0.175	—							
	p-value	0.707	—							
3. TRL 2	Pearson' s r	0.662	0.55	—						
	p-value	0.105	0.19	—						
			9							
4. TRL 3	Pearson' s r	0.827	-	0.69	—					
	p-value	0.022	0.72	0.08	—					
			9	2						
55. TRL 4	Pearson' s r	0.948	0.03	0.82	0.90	—				
	p-value	0.001	0.94	0.02	0.00	—				
			2	1	5					
66. TRL 5	Pearson' s r	0.545	0.64	0.94	0.48	0.68	—			
			4	7	7	6				

Variable		Número de grupos de investigación n	TRL 1	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 6	TRL 7	TRL 8
	p-value	0.206	0.11	0.00	0.26	0.08	—			
			8	1	8	9				
77. TRL 6	Pearson'	0.383	0.74	0.87	0.31	0.53	0.976	—		
	s r		1	5	6	2				
	p-value	0.397	0.05	0.01	0.49	0.21	< .00	—		
			7	0	1	9	1			
88. TRL 7	Pearson'	0.385	0.59	0.79	0.32	0.49	0.920	0.958	—	
	s r		5	6	2	7				
	p-value	0.394	0.15	0.03	0.48	0.25	0.003	< .00	—	
			9	2	1	6		1		
99. TRL 8	Pearson'	0.590	0.44	0.89	0.59	0.69	0.927	0.900	0.94	—
	s r		4	1	2	8			3	
	p-value	0.163	0.31	0.00	0.16	0.08	0.003	0.006	0.00	—
			8	7	1	1			1	
110. TRL 9	Pearson'	0.052	0.86	0.66	-	0.21	0.842	0.926	0.85	0.68
	s r		6	8	0.03	3			2	6
					0					
	p-value	0.912	0.01	0.10	0.95	0.64	0.018	0.003	0.01	0.08
			2	1	0	6			5	9

Nota. Elaboración propia. Utilizando el software de análisis de datos JASP®.  $p > 0.05$  indica que la correlación no es estadísticamente significativa.

#### 4.1.2.2 Capacidades de investigación (Grupos de investigación) frente a ingresos por regalías en

TT. Los datos recopilados permiten evidenciar que no existe una correlación estadística significativa entre el número de grupos de investigación y el promedio de ingresos recibidos por TT en los últimos 10 años (Tabla 13), con un coeficiente de Pearson de -0.144 y un p-valor de 0.758. Este resultado no alcanzó significancia estadística ( $p > 0.05$ ), lo que sugiere que el número de grupos de investigación no es un factor determinante de los ingresos generados por TT, lo que coincide con lo señalado por autores como

Bozeman et al. (2025), que destaca que la cantidad de grupos o asociaciones no necesariamente se traduce en mayores ingresos si no se acompaña de estrategias efectivas de comercialización y vinculación con el sector productivo.

Estos hallazgos muestran que la TT es un proceso multifactorial, donde aspectos como la TRL, la gestión de la PI y la capacidad de innovar juegan roles críticos (Siegel et al., 2007). Los resultados demuestran entonces la necesidad de explorar con otras variables que puedan explicar de manera más robusta la eficiencia en la generación de ingresos por TT, tal como lo recomienda Perkmann et al. (2013).

**Tabla 13**

*Correlación Número de grupos de investigación VS ingresos por transferencia tecnológica*

Variable		Número de grupos de investigación	¿Cuál es el promedio de ingresos recibidos por TT en los últimos 10 años?
1. Número de grupos de investigación	Pearson's r	—	
	p-value	—	
2. ¿Cuál es el promedio de ingresos recibidos por TT en los últimos 10 años?	Pearson's r	-0.144	—
	p-value	0.758	—

Nota. Elaboración propia. Utilizando el software de análisis de datos JASP®.  $p > 0.05$  indica que la correlación no es estadísticamente significativa.

#### **4.1.3 Número de tecnologías frente a los proyectos transferidos y a los ingresos por regalías.**

La Tabla 14, muestra una correlación entre el número de tecnologías según su TRL por universidad, frente al número de proyectos transferidos en los últimos años y el ingreso por regalías producto de la gestión en los procesos de TT. Se destaca en el análisis la relación de las tecnologías con TRL 9 y el número de proyectos transferidos en los últimos 15 años ( $r=0.819$ ,  $p=0.024$ ), lo que evidencia que cuando las tecnologías alcanzan niveles altos de madurez se incrementa la probabilidad de lograr una transferencia



Variabl e		TRL 1	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 6	TRL 7	TRL 8	TRL 9	¿Cuánt os proyect os han logrado transfer ir en los últimos 15 años?	¿Cuál es el promed io de ingreso s recibid os por TT en los últimos 10 años?
<b>2. TRL 2</b>	Pearso n's r	0.55 1	—									
	p-value	0.19 9	—									
<b>3. TRL 3</b>	Pearso n's r	- 0.16 2	0.69 6	—								
	p-value	0.72 9	0.08 2	—								
<b>4. TRL 4</b>	Pearso n's r	0.03 4	0.82 9	0.90 8	—							
	p-value	0.94 2	0.02 1	0.00 5	—							
<b>5. TRL 5</b>	Pearso n's r	0.64 4	0.94 7	0.48 7	0.68 6	—						
	p-value	0.11 8	0.00 1	0.26 8	0.08 9	—						
<b>6. TRL 6</b>	Pearso n's r	0.74 1	0.87 5	0.31 6	0.53 2	0.97 6	—					
	p-value	0.05 7	0.01 0	0.49 1	0.21 9	<.00 1	—					

Variabl e		TRL 1	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 6	TRL 7	TRL 8	TRL 9	¿Cuánt os proyect os han logrado transfer ir en los últimos 15 años?	¿Cuál es el promed io de ingreso s recibid os por TT en los últimos 10 años?
<b>7. TRL 7</b>	Pearso	0.59	0.79	0.32	0.49	0.92	0.95	—				
	n's r	5	6	2	7	0	8					
	p-value	0.15	0.03	0.48	0.25	0.00	< .00	—				
		9	2	1	6	3	1					
<b>8. TRL 8</b>	Pearso	0.44	0.89	0.59	0.69	0.92	0.90	0.94	—			
	n's r	4	1	2	8	7	0	3				
	p-value	0.31	0.00	0.16	0.08	0.00	0.00	0.00	—			
		8	7	1	1	3	6	1				
<b>9. TRL 9</b>	Pearso	0.86	0.66	-	0.21	0.84	0.92	0.85	0.68	—		
	n's r	6	8	0.03	3	2	6	2	6			
				0								
	p-value	0.01	0.10	0.95	0.64	0.01	0.00	0.01	0.08	—		
		2	1	0	6	8	3	5	9			
<b>10.</b>	Pearso	0.53	0.89	0.49	0.68	0.97	0.94	0.91	0.90	0.81	—	
<b>¿Cuánt os proyect os han logrado transfer ir en los últimos</b>	n's r	0	8	8	6	2	4	0	4	9		

Variabl e		TRL 1	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 6	TRL 7	TRL 8	TRL 9	¿Cuánt os proyect os han logrado transfer ir en los últimos 15 años?	¿Cuál es el promed io de ingreso s recibid os por TT en los últimos 10 años?
<b>15 años?</b>	p-value	0.22	0.00	0.25	0.08	<.00	0.00	0.00	0.00	0.02	—	
		1	6	6	9	1	1	4	5	4		
<b>11.</b>	Pearso	-	-	-	-	-	-	0.22	0.16	-	-0.133	
<b>¿Cuál es el promed io de ingreso s recibid os por TT en los últimos 10 años?</b>	n's r	0.19	0.27	0.28	0.30	0.11	0.01	6	4	0.05		
		2	2	0	2	6	7			1		
	p-value	0.68	0.55	0.54	0.51	0.80	0.97	0.62	0.72	0.91	0.777	
		0	5	3	0	4	2	6	6	4		

Nota. Elaboración propia. Utilizando el software de análisis de datos JASP®.  $p > 0.05$  indica que la correlación no es estadísticamente significativa.

**4.1.3.1 Tecnologías activas frente a los incentivos para la transferencia tecnológica.** El análisis de correlación de Pearson entre el número total de proyectos tecnológicos activos y los incentivos utilizados por las universidades para motivar la TT, muestra un coeficiente de correlación negativo ( $r=0.261$ ) con un valor  $p$  de 0.571 (Tabla 15). Estos resultados indican que, aunque existe una relación inversa entre ambas variables, esto no es estadísticamente significativa ( $p > 0.005$ ), esto sugiere que los incentivos otorgados no tienen una asociación clara con el número de proyectos activos en las universidades, lo que plantea interrogantes sobre la efectividad de los incentivos entregados como mecanismos de promoción de la TT.

Los resultados muestran una correlación negativa, aunque débil y no significativa, esto podría reflejar una baja relación entre los incentivos y la eficiencia en la TT, algunas investigaciones señalan que los incentivos económicos, en ciertos contextos, pueden no ser el principal factor determinante del número de proyectos tecnológicos activos, dado que existen otros elementos como la capacidad institucional, la cultura de la innovación y la infraestructura de investigación que pueden desempeñar un papel más preponderante en la TT (David et al., 2000; Azoulay et al., 2007). Otros estudios han mencionado que en algunos casos un exceso de incentivos puede generar dependencia institucional en lugar de fomentar una dinámica sostenible de producción de conocimiento (Lepori et al., 2007).

Desde un punto de vista más crítico, la falta de correlación significativa sugiere que los incentivos disponibles en las universidades no están siendo efectivos y que su diseño no permite fomentar un número mayor de proyectos transferidos con éxito. Esto puede deberse a que los incentivos se concentran en etapas específicas y primarias de la investigación y el desarrollo tecnológico o que están dirigidos a objetivos distintos, como el patentamiento, registros o en la consolidación de tecnologías no emergentes en lugar de buscar nuevas tecnologías y la comercialización efectiva de estas. Esta falta de impacto es consistente con investigaciones que han señalado que los incentivos financieros por si solos no garantizan un aumento en la productividad investigativa si no están acompañados de estrategias complementarias, como el fortalecimiento del capital humano y el acceso a infraestructura de calidad (Stephan, 2012). Esto se evidencia en algunas universidades que tienen el pago por una sola vez por la creación de una tecnología y su protección sin vincular a los investigadores a nuevos incentivos por participar en la consolidación y comercialización del proyecto tecnológico.

Los resultados muestran entonces que no en todos los casos un mayor número de incentivos, motiva a los investigadores a crear nuevas tecnologías que traigan consigo un potencial de ser transferidas, este es el caso de dos universidades que tiene un gran número de proyectos tecnológicos una de Risaralda y otra de Antioquia, en donde en la primer región la universidad solo cuenta con un mecanismo para incentivar la TT, el cual es “Regalías del proyecto”, en la segunda región la universidad cuenta son tres

mecanismos diferentes “Regalías del proyectos”, “Reconocimiento en el escalafón docente” y “Descarga en la agenda docente”.

Los resultados obtenidos en esta correlación evidencian la necesidad de revisar los esquemas de incentivos en el contexto de la investigación, desarrollo tecnológico y comercialización, más allá de la simple asignación de recursos económicos en un momento inicial de la investigación y la protección de la tecnología, es fundamental entonces evaluar la efectividad de estos mecanismos y su alineación de manera particular con las capacidades de la universidad, las necesidades de los investigadores y la demanda del mercado.

**Tabla 15**

*Número de tecnologías frente Incentivos para la TT*

Variable		Número total de tecnologías activos	Incentivos
1. Número total de tecnologías activos	Pearson's r	—	
	p-value	—	
2. Incentivos	Pearson's r	-0.261	—
	p-value	0.571	—

Nota. Elaboración propia. Utilizando el software de análisis de datos JASP®.  $p > 0.05$  indica que la correlación no es estadísticamente significativa.

**4.1.3.2 Comparación entre los proyectos transferidos frente a los ingresos por TT.** La relación entre el número de proyectos transferidos en los últimos 15 años y el promedio de ingresos recibidos por TT en los últimos 10 años muestra un coeficiente de correlación de (-0.133) lo cual indica una relación negativa débil entre estas variables, esto sugiere que un mayor número de proyectos transferidos no está necesariamente asociado con un mayor promedio de ingresos derivados de la TT (ver Tabla16).

La TT es considerada un proceso complejo que no solo depende de la cantidad de proyectos a transferir, sino también de la calidad y pertinencia de la tecnología desarrollada, la capacidad de absorción de las empresas receptoras y la eficiencia de los modelos de comercialización (Rothaermel et al., 2007). La capacidad de absorción permite entonces desarrollar condiciones y habilidades para que una organización pueda reconocer el valor de un nuevo conocimiento externo, pueda asimilarlo y aplicarlo con fines

comerciales (Zahra & George, 2002), consolidándose entonces como un factor clave en el éxito de la TT, especialmente en contexto de colaboración universidad-empresa (Florencio & Oliveira, 2022).

Algunas investigaciones han demostrado que esta capacidad tiene un efecto positivo sobre la efectividad de la TT, incluso en sectores altamente regulados y sensibles como la industria de las vacunas (Suhartono et al., 2024). Esta capacidad incluye dimensiones como la adquisición, asimilación, transformación y explotación del conocimiento, aspectos que condicionan directamente la posibilidad de traducir una invención en innovación (Aribi & Dupouet, 2015). Sin embargo, sectores como la construcción han demostrado niveles comparativamente bajos de capacidad de absorción, lo cual muestra una barrera estructural para la adopción efectiva de nuevas tecnologías (Razali et al., 2021). En este sentido, la correlación negativa, observada entre el número de proyectos transferidos y el retorno obtenido por las universidades podría indicar que algunas tecnologías fueron transferidas sin contar con condiciones óptimas por parte de la empresa y la universidad para una correcta absorción y por ende un mejor aprovechamiento por parte de la empresa. Esto evidencia la necesidad de fortalecer los mecanismos de estructuración de acuerdos entre las empresas y la universidad para mejorar las capacidades organizacionales de las universidades en TT, esto con el fin de maximizar el retorno económico para ambas.

Por otro lado, el valor  $p$  de 0.777 sugiere que la correlación observada no es estadísticamente significativa. Esto implica que no se puede concluir con certeza que exista una relación sistemática entre el número de proyectos transferidos y los ingresos promedio generados por TT. Esta falta de significancia estadística podría explicarse por la heterogeneidad en cuanto a los mecanismos de transferencia utilizados por las universidades, así como por la diversidad de sectores y mercados en los que están insertas las tecnologías desarrolladas (Siegel et al., 2003).

Asimismo, estos resultados plantean la necesidad de revisar los modelos y procesos de TT en las universidades, dado que no solo la cantidad de proyectos con potencial de ser transferidos garantiza un impacto positivo en el retorno para las universidades. Algunas investigaciones han evidenciado que la rentabilidad de la TT depende en gran medida de factores como el TRL, la existencia de alianzas estratégicas con el sector empresarial y la capacidad de negociación en términos de licenciamiento y regalías (Markman et al., 2005).

Estos hallazgos sugieren que las universidades deben desarrollar estrategias más efectivas para asegurar que la TT genere retornos importantes y sostenibles en el tiempo. Esto debe incluir la implementación de mecanismos de valoración y negociación tecnológica y la consolidación de redes de cooperación efectivas con el sector empresarial.

La correlación negativa y no significativa entre los proyectos transferidos y los ingresos promedio recibidos por regalías, sustenta la idea de que el desempeño de la TT no debe medirse únicamente por la cantidad de proyectos gestionados, sino por el impacto económico real del proceso. Por lo tanto, la optimización de los procesos de TT requiere de una visión estratégica que priorice la creación de valor y la consolidación de alianzas estratégicas a mediano y largo plazo con el sector empresarial desde la identificación de necesidades reales del entorno, hasta el desarrollo, experimentación comercialización y absorción de la tecnología.

**Tabla 16**

*Proyectos transferidos frente a los ingresos por regalías*

Variable		3.3 ¿Cuántos proyectos han logrado transferir en los últimos 15 años?	¿Cuál es el promedio de ingresos recibidos por TT en los últimos 10 años?
1. ¿Cuántos proyectos han logrado transferir en los últimos 15 años?	Pearson's r	—	
	p-value	—	
2. ¿Cuál es el promedio de ingresos recibidos por TT en los últimos 10 años?	Pearson's r	-0.133	—
	p-value	0.777	—

Nota. Elaboración propia. Utilizando el software de análisis de datos JASP®.  $p > 0.05$  indica que la correlación no es estadísticamente significativa.

#### **4.1.4 Análisis de Componentes Principales**

El análisis de componentes principales (PCA, por sus siglas en inglés) es una técnica estadística multivariada diseñada para reducir la dimensionalidad de un conjunto de datos complejos, maximizando de esta manera la retención de la varianza original (Jolliffe & Cadima, 2016). Este método al transformar

las variables originales en un nuevo conjunto de componentes no correlacionados facilita la identificación de patrones y relaciones subyacentes en los datos (Hair et al., 2019).

El uso del PCA permitió simplificar el análisis sin perder datos e información relevante, lo cual es relevante cuando se busca construir tipologías, factores latentes o establecer relaciones significativas entre variables complejas (Hair et al., 2019). Este análisis permitió entonces comprender mejor la interrelación entre múltiples factores asociados a los procesos de TT en las universidades. El PCA se realizó utilizando el software estadístico JASP® (versión 0.19.3.0) (Love et al., 2019), el cual facilitó el análisis multivariado de los datos recolectados en cada una de las universidades objeto de estudio. A partir de este análisis, se identificaron tres familias de variables que no fueron predefinidas, sino que emergieron de la estructura de los datos. Estas familias permitieron realizar una interpretación más integral y sistémica de los factores involucrados en la TT:

- Familia 1: variables entre regiones, grupos de investigación y número de proyectos
- Familia 2: número de grupos de investigación, proyectos y promedio de inversión anual en los procesos de TT
- Familia 3: desempeño de los procesos de TT.

La selección de los componentes principales se realizó siguiendo el criterio del gráfico de sedimentación, el cual permite determinar el número óptimo de componentes a retener al identificar el punto de inflexión donde la pendiente de los autovalores se estabiliza. Este enfoque asegura un equilibrio adecuado entre la simplificación del modelo y la retención de la máxima información posible de los datos originales (Jolliffe, 2002). Al conservar únicamente los componentes con autovalores superiores a 1, según el criterio de Kaiser, se optimiza la interpretabilidad del análisis sin sacrificar la variabilidad explicada por el modelo (Jolliffe & Cadima, 2016).

#### **4.1.4.1 Resultados por familia de variables**

**4.1.4.1.1 Familia 1. Región, grupos de investigación y proyectos.** El PCA realizado para la familia 1, permitió identificar que el número de grupos de investigación constituye un factor relevante para el éxito de la TT en las universidades. El gráfico de sedimentación (Figura 11) evidenció que el primer componente principal, con un autovalor cercano a 1.6, explica la mayor parte de la varianza en los datos, lo que sugiere que las regiones con una mayor capacidad investigativa presentan una mayor probabilidad

de gestionar proyectos exitosos de TT. Este hallazgo es consistente con lo planteado por Bozeman (2000) y Bozeman et al. (2015), quienes destacan que las capacidades de I+D representan un insumo clave para la generación de resultados transferibles. No obstante, autores como D'Este y Patel (2007), señalan que dichas capacidades no son suficientes por sí solas, ya que el éxito de la TT depende también de factores como los incentivos institucionales, la experiencia de los investigadores y la articulación con el sector productivo. En este contexto, el departamento de Antioquia se posiciona como un referente, no solo por el número de grupos de investigación con los que cuentan sus universidades, sino también por su enfoque estratégico en la articulación con el sector empresarial.

En este análisis, la unicidad de las variables que en este caso fue baja (0.177) (Tabla 17), indica que una gran parte de la varianza de los datos asociados a las variables “grupos de investigación” y “número total de proyectos”, es explicada por el primer componente. En términos del PCA, la unicidad representa la proporción de la varianza de una variable que no es explicada por los componentes extraídos. Por lo tanto, un valor bajo de unicidad refleja una fuerte asociación con el componente principal, lo cual confirma que estas variables desempeñan un papel central en la explicación del comportamiento observado en los datos recolectados.

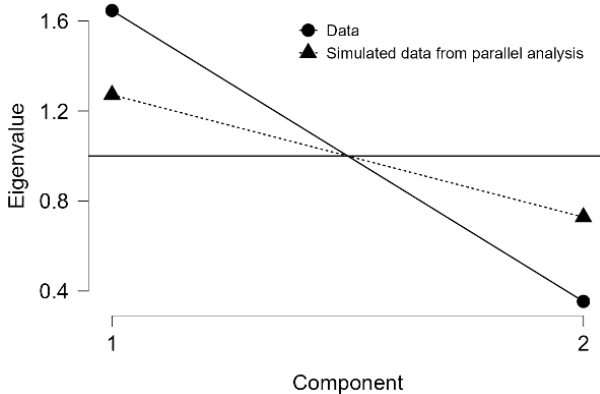
El desempeño de Risaralda es positivo frente al número de grupos de investigación, pero no alcanza los niveles observados en Antioquia. Esta diferencia puede traer ventajas frente al número de proyectos con posibilidad de ser transferidos al sector empresarial. Los resultados indican que Antioquia tiene mayor potencialidad de lograr colaboraciones tempranas con la industria, dado el número de grupos y proyectos tecnológicos con TRL avanzadas, en el caso de Risaralda los proyectos pueden quedarse en etapas iniciales de su desarrollo tecnológico, limitando de esta manera el potencial de TT. En línea con estos resultados el informe de Colombia Tech Report para el 2023 de KPMG y Colombia Fintech muestra cómo Antioquia ha consolidado un ecosistema de innovación más robusto, con mayores niveles de inversión privada en I+D, redes activas universidad-empresa y una institucionalidad fuerte que apoya la maduración tecnológica de los proyectos. En contraste, Risaralda presenta un ecosistema emergente donde la infraestructura para escalar proyectos tecnológicos de las universidades hacia el mercado aún es limitada (KPMG & Colombia Fintech, 2023).

Esta diferencia entre regiones resalta la importancia de seguir fortaleciendo las políticas institucionales que promuevan, la investigación, la vinculación con el sector empresarial, el desarrollo tecnológico y las capacidades de comercialización y absorción de tecnológicas en las empresas. No obstante, algunos autores mencionan la importancia de acompañar estas políticas con mecanismos de

gestión y fortalecimiento de las capacidades internas de las universidades y las empresas (Bozeman, 2000; Siegel et al., 2007).

**Figura 11**

*Gráfico de sedimentación para la familia 1: Región, Grupos de Investigación y Número Proyectos*



Nota. Gráfico propio elaborado con JASP®.

**Tabla 17**

*Cargas de Componentes Principales para la Familia 1: Región, Grupos de Investigación y Número de Proyectos*

Variable	PC1 (Cargas)	Unicidad
Grupos de investigación	0.907	0.177
Número Total de Proyectos	0.907	0.177

Nota: Elaboración propia. Utilizando el software de análisis de datos JASP®. La carga de componentes refleja la correlación de cada variable original con el componente principal. Se utilizó el método de rotación Varimax para mejorar la interpretabilidad de los componentes.

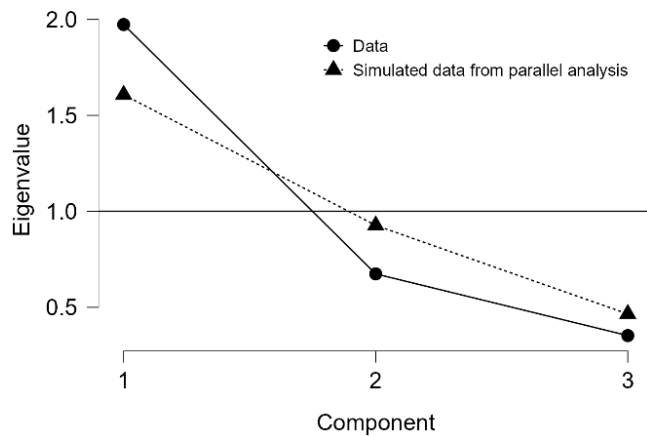
**4.1.4.1.2 Familia 2. Grupos de investigación, proyectos e inversión.** El PCA evidenció que solo el primer componente principal debía ser retenido, ya que presentó un autovalor cercano a 2, superando tanto el umbral del Criterio de Kaiser (autovalores > 1) como los autovalores generados a partir del análisis paralelo (figura 12 y Tabla 18). Este componente explica una proporción significativa de la varianza en los datos, lo que sugiere que las variables relacionadas con el número de grupos de investigación, el número de proyectos y el promedio de inversión anual en procesos de TT contribuyen de manera conjunta a un factor latente común, asociado a la capacidad institucional para la TT (Jolliffe & Cadima, 2016). Si bien

estos resultados evidencian la relevancia de las capacidades investigativas internas, la literatura advierte que estas por sí solas no garantizan el éxito de la TT, ya que factores externos como la demanda empresarial, la calidad de las alianzas y los marcos institucionales desempeñan un papel igualmente determinante (Bozeman, 2000; D’Este & Patel, 2007; Siegel et al., 2007).

La figura 14 también muestra que el segundo y tercer componente no aportan información significativa al estudio, indicando que la variabilidad explicada por estos componentes podría asociarse más al ruido aleatorio que a patrones relevantes en el contexto de la TT. Esto permite concluir que las inversiones en los procesos de TT, así como la cantidad de grupos de investigación, son variables claves para impulsar el desempeño de los procesos de TT, especialmente en regiones como Antioquia donde se han implementado estrategias efectivas de innovación. Estos hallazgos muestran coherencia con estudios que sustentan que las instituciones académicas con un enfoque proactivo en la transferencia de conocimiento logran un mayor impacto socioeconómicos en su entorno (Etzkowitz & Leydesdorff, 2000).

**Figura 12**

*Gráfico de sedimentación para la familia 2: Grupos de Investigación, proyectos e inversión*



Nota. Gráfico propio elaborado con JASP®.

**Tabla 18**

*Cargas de Componentes Principales para la Familia 2: Grupos de Investigación, proyectos e inversión*

Variable	PC1 (Cargas)	Unicidad
Número Total de Proyectos	0.866	0.250
Grupos de investigación	0.852	0.274

Variable	PC1 (Cargas)	Unicidad
Inversión promedio por años en procesos de TT (En millones de pesos)	-0.705	0.503

Nota. Elaboración propia. Utilizando el software de análisis de datos JASP®. La carga de componentes refleja la correlación de cada variable original con el componente principal. Se utilizó el método de rotación Varimax para mejorar la interpretabilidad de los componentes.

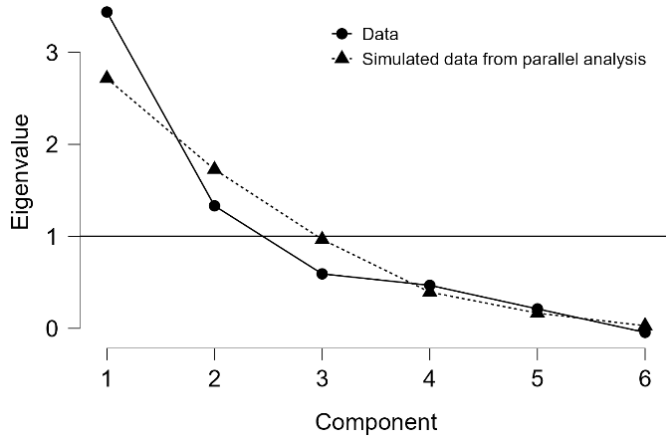
**4.1.4.1.3 Familia 3. Desempeño de los procesos de TT.** El PCA evidenciado en la Tabla 19 y Figura 13 muestra que el primer componente principal (PC1) explica la mayor parte de la varianza en los datos, con un autovalor superior a 3 según el gráfico de sedimentación. Esto indica que el PC1 es el único componente significativo, ya que los autovalores de los demás componentes se encuentran por debajo del umbral de 1, según el criterio de Kaiser (Jolliffe & Cadima, 2016). Las cargas factoriales entonces más altas se observan en las variables “¿cuántos proyectos han logrado transferir en los últimos 15 años?” (0.913), “Número total de proyectos” (0.888) y “Grupos de investigación” con (0.773), lo cual sugiere que la capacidad investigativa y el volumen de proyectos constituyen factores relevantes para explicar la dinámica de la TT universitaria. No obstante, diversos autores hablan de la importancia de la calidad en el vínculo universidad empresa, una infraestructura investigativa fuerte, una gestión eficiente de proyectos, la orientación de proyectos hacia necesidades del mercado y la existencia de incentivos institucionales que favorezcan la comercialización del conocimiento. (Bozaman et al., 2015; Bozeman, 2000; Siegel et al., 2007).

El análisis presenta una correlación negativa en las variables de inversión e ingresos derivados de la TT. La “Inversión promedio por años en procesos de TT (en millones de pesos) presenta una carga de -0.704, mientras que “¿Cuáles el promedio de ingresos recibidos por TT en los últimos 10 años?” muestra una carga de -0.412. Estos hallazgos podrían indicar que una mayor inversión no siempre se traduce en ingresos proporcionales o superiores, lo cual podría estar asociado a factores como a la eficiencia en la ejecución de proyectos, la calidad de las alianzas con las empresas o la madurez de los proyectos tecnológicos desarrollados (Etzkowitz & Leydesdorff, 2000). Además, la alta unicidad de la última variable (0.830) indica que gran parte de su varianza no se asocia al componente retenido, lo cual sugiere que captura dimensiones adicionales no representadas en este análisis, lo cual podría señalar la necesidad de explorar factores adicionales en un futuro (Jolliffe & Cadima, 2016).

Los resultados del PCA destacan la importancia de la infraestructura investigativa y de un enfoque estratégico en la gestión de proyectos transferibles. Si bien el número de proyectos y la vinculación directa con empresas son factores determinantes en el éxito del desempeño de la TT, la rentabilidad económica parece depender de una combinación de factores cualitativos y cuantitativos. Es así como las universidades deben definir políticas y estrategias que permitan seguir fortaleciendo el número de proyectos, la calidad en los procesos de TT y la inversión en investigación y desarrollo, variables que permitirían mejora los retornos financieros para las universidades y el impacto generado en su entorno.

**Figura 13**

*Gráfico de sedimentación para la familia 2: Grupos de Investigación, proyectos e inversión*



Nota. Gráfico propio elaborado con JASP®.

**Tabla 19**

*Cargas de Componentes Principales para la Familia 3: (Capacidades: grupos de investigación, inversión, proyectos VS Resultados: vinculación con empresas, proyectos transferidos, ingresos por transferencia)*

Variables	PC1 (Cargas)	Unicidad
¿Cuántos proyectos han logrado transferir en los últimos 15 años?	0.913	0.167
Número Total de Proyectos	0.888	0.212
Grupos de investigación	0.773	0.403

<b>¿Cuál es porcentaje de proyectos de TT con vinculación directa con empresas?</b>	0.745	0.444
<b>Inversión promedio por años en procesos de TT (En millones de pesos)</b>	-0.704	0.504
<b>¿Cuál es el promedio de ingresos recibidos por TT en los últimos 10 años?</b>	-0.412	0.830

Nota. Elaboración propia. Utilizando el software de análisis de datos JASP®. La carga de componentes refleja la correlación de cada variable original con el componente principal. Se utilizó el método de rotación Varimax para mejorar la interpretabilidad de los componentes.

Los resultados entregados por el análisis del PCA confirman que las universidades que presentan una sólida articulación con el sector empresarial a través de proyectos transferidos logran una mejor relación con las empresas y fortalecen sus estrategias frente a sus procesos de TT. Esta conexión lograda con el sector empresarial en etapas tempranas del desarrollo de la tecnología permite mejorar la alineación de los proyectos con las necesidades de los mercados, lo que se traduce en un mayor potencial de comercialización de las tecnologías desarrolladas. Además, las universidades que establecen más y mejores vínculos con empresas suelen acceder más fácilmente a recursos adicionales, tanto financieros como técnicos, que aceleran la maduración tecnológica de los desarrollos (Bozeman et al., 20215).

En referencia con el contexto regional, el desempeño de Antioquia en TT destaca frente al de Risaralda, no solo por su mayor número de grupos de investigación, sino también por su estrategia clara en cuanto al desarrollo de procesos de TT de sus universidades. El primer componente principal identificado en el PCA podría interpretarse como una medida de la madurez tecnológica institucional, considerando que en Antioquia se ha evidenciado un enfoque estratégico frente a la articulación con el sector empresarial, lo cual permite alcanzar niveles más avanzados de madurez tecnológica (TRL 4 -7). En cuanto a Risaralda, aunque se presenta un buen número de proyectos tecnológicos, no se logra una transferencia efectiva, probablemente debido a la falta de una colaboración sostenida con el sector empresarial y la poca articulación en las primeras etapas de la investigación y el desarrollo tecnológico, esto limita el avance de los proyectos a niveles más altos de su TRL. Esta disparidad refuerza la necesidad de que las universidades adopten políticas institucionales que promuevan una mayor articulación con el sector producto y optimicen los procesos de TT.

#### **4.1.5 Conclusiones del análisis de datos**

Las universidades han demostrado un creciente interés en fortalecer sus procesos de TT, no solo como un mecanismo para dinamizar la investigación y su posicionamiento institucional, sino también como una estrategia de diversificación de ingresos. Por esta razón la TT se viene consolidando como un factor clave de desarrollo, de esta manera se destacan los siguientes hallazgos a partir del análisis de los datos recolectados en las universidades objeto del estudio:

- Aunque el número de grupos de investigación y el perfil profesional del equipo de trabajo no son determinantes absolutos del éxito en la TT, su influencia positiva en la articulación con el sector empresarial es indiscutible. Las universidades con grupos de investigación más fortalecidos y con perfiles académicos más robustos tienen mayor capacidad para establecer vínculos efectivos con las empresas, favoreciendo de esta manera la consolidación de proyectos tecnológicos.
- Las universidades poseen fortalezas en las primeras fases de madurez tecnológica (TRL 1,2 y 3), principalmente en investigación básica. Sin embargo, su capacidad disminuye en niveles avanzados de TRL (4,5,6 y 7) sin una articulación activa con las empresas y en las etapas finales (TRL 8 y 9), la vinculación con el sector empresarial se vuelve indispensable para la comercialización de las tecnologías desarrolladas.
- El PCA evidenció que un mayor número de grupos de investigación y proyectos no garantiza un desempeño efectivo en TT ni mayores regalías. El desempeño mejora cuando una empresa aliada participa desde las primeras etapas del desarrollo tecnológico, favoreciendo de esta manera la consolidación y transferencia efectiva de las tecnologías.
- Los incentivos institucionales son fundamentales para fomentar la TT, pero su diseño debe ser integral y adaptado a las necesidades y condiciones específicas de cada universidad. Los incentivos económicos como regalías, bonificaciones salariales, entre otros, muestran una correlación moderada con el desempeño de la TT, mientras que aquellos combinados como reconocimientos académicos y ajustes en la carga docente generan un mayor impacto en la eficiencia de los investigadores.
- Los mecanismos más utilizados para la TT incluyen la investigación y desarrollo por demanda, el licenciamiento y la transferencia de conocimiento (Know-how). El PCA sugiere que la combinación de estos mecanismos junto con la creación de empresas de base tecnológica puede generar nuevas oportunidades para ingresos sostenibles y para fortalecer los entornos de innovación regional.

- La mayoría de las universidades consideran que el nivel óptimo de TRL para una transferencia efectiva se encuentra entre 4 y 6. Sin embargo, las instituciones con un enfoque estratégico hacia el desarrollo completo de la tecnología (TRL 9), gestiona alianzas tempranas con empresas para obtener de esta manera una ventaja competitiva significativa, especialmente cuando existe una vinculación adecuada con el sector empresarial desde las primeras fases de desarrollo del proyecto tecnológico.
- El aprendizaje continuo derivado tanto de los proyectos exitosos como de los fallidos, se destaca como un componente crítico para las universidades dado que integra lecciones optimizadas a las estrategias de TT y desarrollan una resiliencia organizacional que facilita cada vez más la adaptación de la universidad entornos cambiantes del mercado.
- En cuanto a la articulación con las empresas, las universidades reconocen la importancia de una participación en redes, asociaciones y agrupaciones. Sin embargo, se requiere de un mayor esfuerzo en la definición de políticas efectivas que impulsen la TT universitaria, especialmente para alcanzar un impacto internacional.
- Las universidades de Antioquia presentan un mejor desempeño en términos de capacidades, proyectos activos y cantidad de tecnologías transferidas, en comparación con Risaralda. Esta diferencia se atribuye al dinamismo y la articulación más efectiva con las empresas, lo que muestra un mayor potencial de éxito en los procesos de cooperación con las empresas.
- Los hallazgos del PCA confirman que la participación de aliados estratégicos desde las primeras etapas del desarrollo tecnológico incrementa las probabilidades de éxito en la TT. La integración en red con las empresas no solo mejora el desempeño del proceso, sino que también optimiza los retornos financieros, como regalías obtenidas.

Con los resultados obtenidos a partir del análisis de los datos contemplados en los numerales 4.1.1, 4.1.2, 4.1.3 y 4.1.1 se cumple con el primero objetivo específico de la investigación, orientado a caracterizar las condiciones institucionales y de entorno que inciden en los procesos de TT de las universidades y su relación con las empresas. Si bien los hallazgos responden a tendencias ya señaladas en la literatura, su contraste con datos empíricos en el contexto colombiano aporta evidencia concreta que permite precisar y contextualizar los factores críticos para la gestión de la TT en las universidades.

## 4.2 Modelo y simulación

La modelación y simulación de sistemas constituye un enfoque metodológico clave para el estudio de fenómenos sociales complejos, particularmente aquellos caracterizados por múltiples niveles de interacción, diversidad de actores y estructuras organizacionales descentralizadas. Esta aproximación resulta útil cuando se requiere comprender dinámicas emergentes generadas por la interacción de agentes individuales con comportamientos diferenciados, que no pueden ser anticipadas desde enfoques agregados o lineales (Gilbert, 2008). En el marco de la presente investigación, la simulación permitió construir representaciones computacionales de los procesos de TT en las universidades, funcionando como un entorno virtual de experimentación. Estas representaciones facilitaron tanto la exploración de escenarios alternativos como la formulación de hipótesis sobre el comportamiento sistémicos de las relaciones universidad-empresa (Borshchev & Filippov, 2004; RailMBAck & Grimm, 2019).

Desde esta perspectiva, la simulación computacional es una herramienta que puede captar la complejidad de las interacciones entre las universidades y las empresas a través de los proyectos tecnológicos. El desempeño de estos procesos depende en gran medida de la coordinación estratégica y la cooperación entre los actores involucrados (Etzkowitz & Leydesdorff, 2000). Además de su utilidad descriptiva, la simulación también cumple un rol epistemológico importante, dado que permite formalizar reglas, estructuras y relaciones dentro del sistemas y a la vez contribuir a la construcción teórica mediante la experimentación virtual. Tal como afirman Gilbert y Troitzsch (2005), modelar un sistema complejo implica representar tanto los componentes individuales de los agentes como su arquitectura institucional y las relaciones que lo configuran. En esta lógica, la simulación actúa como un “laboratorio virtual” (Axelrod, 1997), que reduce los riesgos y costos asociados a la experimentación en entornos reales, facilita el análisis iterativo para sustentar decisiones de política, diseño institucional y estrategias de innovación (Davis et al., 2007).

### 4.2.1 Definición del paradigma de simulación

Entre los principales paradigmas de simulación se encuentran la Dinámica de Sistemas (DS), los Sistemas Dinámicos (SD), la Simulación de Eventos Discretos (ED) y la Simulación Basada en Agentes (MBA por sus siglas en inglés). Cada paradigma responde a diferentes niveles de abstracción, propósitos analíticos y contextos de aplicación y su selección depende en gran medida del tipo de problema a modelar, la granularidad de los actores involucrados y la dinámica de los procesos. En el caso de la

Dinámica de Sistemas, propuesta por Forrester (1961), se vuelve útil cuando se quiere modelar relaciones macroestructurales con retroalimentaciones y flujos acumulativos, mientras que los modelos de eventos discretos destacan en la representación de procesos secuenciales y operacionales en tiempo real (Banks et al., 2010). Por su parte los Sistemas Dinámicos tienen aplicación en fenómenos físicos, pero presentan limitaciones cuando se trasladan a contextos sociales o institucionales (Zeigler et al., 2000).

En cuanto a la Simulación Basada en Agentes (MBA) se fundamenta en la modelación de agentes individuales autónomos, capaces de interactuar entre sí y con su entorno, adaptándose a reglas de comportamiento, aprendizaje o cooperación (Macal & North, 2010; Gilbert, 2008). Esta capacidad de representar la heterogeneidad y la emergencia del comportamiento colectivo ha posicionado la MBA como un enfoque robusto en el análisis de fenómenos sociales complejos, incluidos los relacionados con procesos de innovación. La Tabla 20 que se presenta a continuación sintetiza las diferencias entre los paradigmas de simulación, para contrastar las fortalezas y limitaciones de cada una de ellas frente a los requerimientos específicos de la investigación:

**Tabla 20**

*Comparación entre los paradigmas de modelación*

Paradigma	Nivel de Abstracción	Enfoque principal	Ventajas	Desventajas	Aplicabilidad a la investigación	Fuente
<b>Dinámica de Sistemas (DS)</b>	Alta	Sistémico agregado	– Modela ciclos de retroalimentación; útil en escenarios macroeconómicos	No representa agentes individuales; baja granularidad	Útil para escenarios agregados o de políticas macro	Forrester (1961); Sterman (2000)
<b>Sistemas Dinámicos (SD)</b>	Media-baja	Físico matemático	– Adecuado para fenómenos continuos y físicos	Inaplicable en contextos sociales	Limitado en contextos sociales o institucionales	Zeigler et al. (2000)

Paradigma	Nivel de Abstracción	Enfoque principal	Ventajas	Desventajas	Aplicabilidad a la investigación	Fuente
				institucionales complejos		
<b>Eventos Discretos (ED)</b>	Media	Procesos operacionales	Precisión en procesos logísticos secuenciales	en No representa toma de decisiones autónoma aprendizaje adaptativo	Inadecuado para simular innovación y redes de conocimiento	Banks et al. (2010)
<b>Simulación Basada en Agentes (MBA)</b>	Variable	Interacción entre agentes	Representa heterogeneidad, aprendizaje, adaptación y emergencia	Mayor complejidad computacional ; validación más exigente	Altamente adecuada: modela dinámicas sociales y de innovación	Gilbert & Troitzsch (2005); Macal & North (2010)

Este capítulo analiza desde la modelación y simulación el desempeño de los procesos de TT en las universidades en el marco de la relación con las empresas a través de proyectos tecnológicos transferibles. Este fenómeno está determinado por factores institucionales interdependientes y se caracteriza por la interacción entre agentes heterogéneos, autónomos y adaptativos. Estas condiciones requirieron de un paradigma de simulación que permitiera representar no solo estructuras y flujos, sino también el comportamiento individual de los actores, su capacidad de aprendizaje y los efectos emergentes de sus decisiones.

La simulación Basada en Agentes (MBA) fue el paradigma que más se alineó a las exigencias del modelo establecido para la TT universitaria, dado que permitió la representación explícita de agentes

autónomos (universidades y empresas), con reglas diferenciadas de comportamiento, estrategias de acción únicas y dinámicas de relación, cooperación o competencias (Gilbert & Terna, 2000; Macal & North, 2010). Adicionalmente la MBA permite incorporar elementos como redes de colaboración contextuales y mecanismos de coevaluación, aspectos importantes en la dinámica de TT (Vermeulen & Pyka, 2016).

El paradigma ha sido aplicado en investigaciones previas, como la realizada por Orjuela et al. (2022), los cuales emplearon la MBA para analizar la TT en cadenas agrícolas en Colombia, logrando identificar patrones de comportamiento que afectan la eficiencia del sistema. Por otra parte, Yepes (2022) en su tesis doctoral desarrolló un modelo de MBA orientado a sintetizar los comportamientos del Valle de la Muerte bajo una perspectiva sistémica para identificar lineamientos para la gestión de proyectos de I+D+i, resaltando el papel de las capacidades organizacionales y de la gobernanza en el desempeño del sistema. Asimismo, Tavera (2023) empleó la MBA para resolver un problema de localización en la gestión de operaciones. Todas estas investigaciones destacan el potencial de esta metodología para representar dinámicas adaptativas en contextos complejos.

Desde una perspectiva metodológica, la MBA se alinea con estándares rigurosos de validación y verificación. Sargent (2010) propone un marco completo para asegurar la validez del modelo, incluyendo validación conceptual, verificación del modelo computacional y la validación empírica. A su vez, Davis et al. (2007) destacan la utilidad del a MBA en el desarrollo de teorías mediante la simulación, al permitir realizar análisis de sensibilidad, variación de supuestos y experimentación en múltiples escenarios.

En consecuencia, la MBA no solo es coherente con los requerimientos del fenómeno objeto de estudio, sino que también se constituye como una herramienta científica robusta, capaz de generar conocimiento estructurado y aplicable en el marco de la TT. Por lo tanto, el paradigma seleccionado para estudiar las dinámicas de relacionamiento de las universidades y las empresas es la Modelación Basada en Agentes (MBA), de esta manera la metodología permitió analizar el comportamiento de los agentes partiendo de la definición de un modelo conceptual para el desarrollo de la simulación computacional (Scalco et al., 2018), teniendo en cuenta las particularidades de estos desde su enfoque social. La MBA ha demostrado ser una técnica útil para modelar sistemas complejos (Gilbert, 1999; Gilbert y Terna, 2000; Ruíz, 2016; Quintero, 2016), y se ha visto utilizando en diferentes campos investigativos, incluidos estudios de tipos social, los cuales se encargan de estudiar las relaciones complejas entre actores (Elsenbroich et al., 2014).

**4.2.2 Modelo Conceptual**

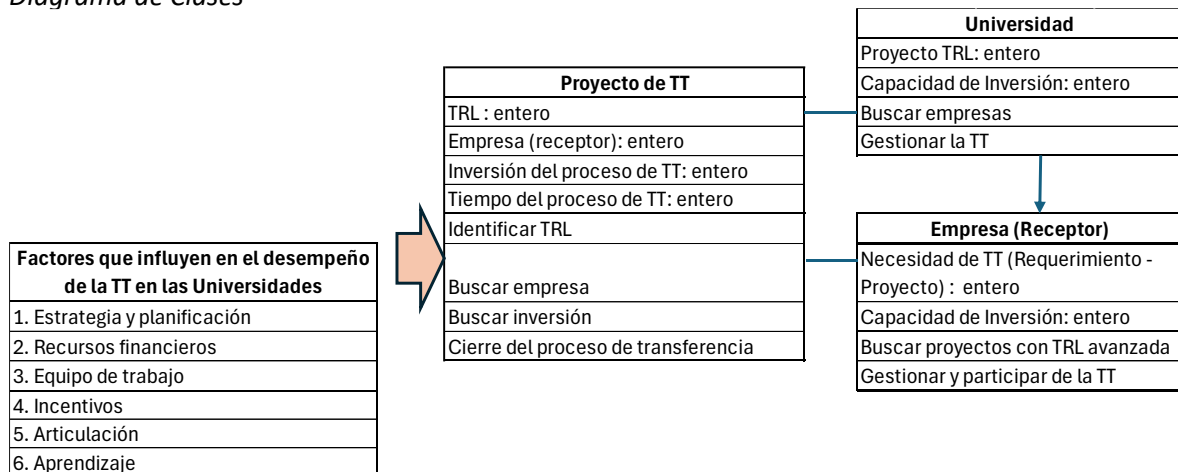
Con el propósito de representar una simulación basada en agentes que reflejara con mayor fidelidad los procesos reales de la TT en las universidades, se definieron las variables de estudio a partir de una revisión del estado del arte, considerando investigaciones afines y marcos teóricos consolidados alrededor de la TT. A partir de este análisis, se identificaron 6 variable clave relacionadas con el desempeño de la TT en el entorno universitario. Esta base conceptual permitió construir un modelo inicial y el desarrollo de una simulación computacional preliminar, mediante los cuales fue posible identificar condiciones relevantes en la interacción entre agentes. Dichos resultados proporcionaron insumos fundamentales para la estructuración de un modelo más completo, así como el refinamiento de las variables y del instrumento de recolección de datos aplicado a las universidades objeto de estudio.

Teniendo en cuenta los datos recolectados y el modelo computacional preliminar establecido, se construyó un modelo conceptual final, que permitió definir en detalle los agentes, sus características, sus dinámicas de relacionamiento y el objetivo principal del modelo frente a la investigación.

El modelo conceptual pretende analizar los procesos de TT en las universidades, específicamente su la relación a través de los proyectos con las empresas, de esta manera se tienen como agentes del modelo las universidades, las empresas y los proyectos, a continuación, se muestra en la Figura 14 cada uno de los agentes en el diagrama de clases:

**Figura 14**

*Diagrama de Clases*



El diagrama de clases presentado en la Figura 14, identifica las seis variables objeto de estudio enmarcadas en el desempeño de la TT en las universidades, de igual forma se muestran las características

de cada uno de los agentes, universidades como cedentes de la tecnología, empresas como receptoras y los proyectos como enlace en el proceso de TT.

Para conocer las funciones de cada uno de los agentes en el modelo, se construyó un diagrama que permite evidenciar de manera clara los atributos y las funciones de cada uno de ellos (Figura 15).

**Figura 15**

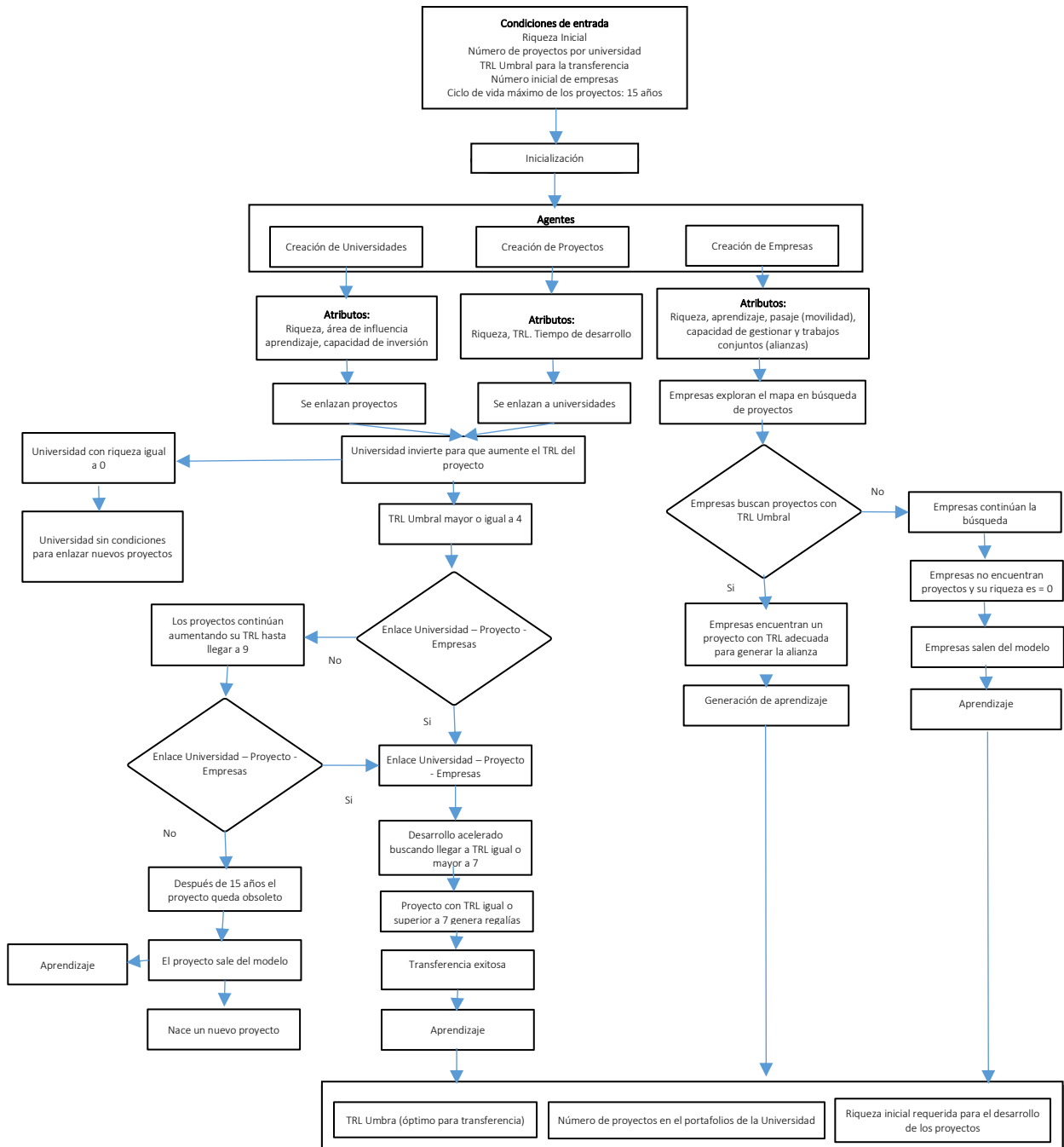
*Diagrama de agentes*

Agente : Universidad	Agente: Empresa	Agente: Proyecto de TT
<b>Atributos</b>	<b>Atributos</b>	<b>Atributos</b>
Riqueza (Presupuesto disponible)	Riqueza (capital de inversión en proyectos)	Nivel de TRL ( 1- 9)
Aprendizaje en TT del equipo de trabajo	Aprendizaje (experiencia adquirida en alianzas y proyectos)	Presupuesto disponible
Área de influencia (zona geográfica donde opera)	Pasaje (costos asociado a la búsqueda de proyectos viables - TRL $\geq$ 4)	Tiempo de desarrollo y evolución (TRL)
Capacidad de inversión en proyectos	Capacidad para gestionar y participar en la TT	<b>Funciones</b>
<b>Funciones</b>	Capacidad en trabajo conjunto con universidades (Número de proyectos gestionados al tiempo)	Evolucionar en TRL con inversión por parte de la universidad y las empresas
Definir su área de influencia directa	<b>Funciones</b>	Morir después de 15 años y si no logran alcanzar una TRL suficiente quedándose sin recursos
Asignar recursos a proyectos - Riqueza (Inicial y convocatoria)	Buscar proyectos con TRL $\geq$ 4 para inversión - Crear alianza	Generar aprendizaje para universidades y empresas
Apoyar el desarrollo tecnológico de los proyectos (TRL)	Financiación y alianza para el avance de proyectos	Generar riqueza para universidades y empresas (retorno)
Buscar alianza con empresas	Obtener retorno de inversión cuando TRL $\geq$ 7.	
	Abandonar el sistema si la riqueza llega a valores negativos o cero	

El diagrama de flujo presentado en la Figura 16 permite visualizar de manera secuencial y relacional las dinámicas de los agentes y variables que estructura el modelo de simulación basado en agentes. Las universidades actúan como agentes generadores de proyectos tecnológicos, asignando recursos iniciales y acompañando a los proyectos en las fases de maduración de la tecnología (TRL 1 a 4). Las empresas por su parte se configuran como agentes receptores que, a través de procesos de búsqueda y selección establecen enlaces con los proyectos que tengan un nivel tecnológico medio o avanzado (TRL 4 o superior). La conexión entre la universidad y a la empresa se realiza a través de los proyectos y genera un flujo de inversión que permite la evolución de los proyectos hacia niveles de madurez más altos (TRL  $\geq$  7), momento en el cual los proyectos generan retornos económicos para las empresas y las universidades (regalías) y aprendizaje para ambas partes.

Figura 16

Diagrama de Flujo



Los proyectos se conciben como agentes que median entre la relación universidad-empresa y constituyen un eje central de la dinámica del modelo. Su ciclo de vida contempla fases de creación, desarrollo, transferencia y obsolescencia, etapas guiadas a través de su TRL.

De esta forma el diagrama de flujo integra las relaciones funcionales entre los agentes y variables, los recursos asignados a los proyectos inciden directamente en la generación y desarrollo de los proyectos (TRL), las decisiones de búsqueda e inversión de las empresas determinan la velocidad y éxito de la transferencia, los proyectos operan como articuladores entre las universidades y las empresas para realizar los procesos de TT.

En la Tabla 21 se presentan de forma resumida las relaciones funcionales entre agentes, las variables asociadas a cada interacción y sus soportes teóricos, lo que refuerza la validación conceptual del modelo.

**4.2.2.1 Relaciones funcionales del modelo.** Con el objetivo de realizar una descripción de las relaciones de los agentes en el modelo de simulación, la tabla 21, muestra las relaciones funcionales entre estos y los factores asociados a la relación al igual que sus soportes teóricos.

**Tabla 21**

*Relaciones funcionales del modelo conceptual*

<b>Relación funcional</b>	<b>Variable asociada</b>	<b>Soporte desde la Teoría</b>
<b>Universidad-Proyecto</b>	Estrategia y planificación de la TT (número de proyectos, TRL umbral); Recursos financieros para la TT (riqueza inicial); Aprendizaje para la TT	Etzkowitz & Leydesdorff (2000); Siegel et al. (2007)
<b>Proyecto- Universidad</b>	Generación de regalías y aprendizajes derivados de los procesos de TT	Bozeman (2000); Bozeman et al. (2015)
<b>Empresa-Proyecto</b>	Inversión/riqueza; TRL umbral; TRL (TRL $\geq$ 4) Transferencia adecuada; Número de proyectos	Siegel et al. (2004); Mankins (1995, 2009) – NASA Technology Readiness Levels (2012).

Relación funcional	Variable asociada	Soporte desde la Teoría
Proyecto-Empresa	Nivel de madurez tecnológica (TRL $\geq$ 7)	Markman et al. (2005); Barker & Smith (2012)

A continuación, se describen las relaciones más relevantes entre las agentes presentadas en el modelo de simulación:

- Universidad – Proyecto: Las universidades actúan como generadoras de conocimiento y desarrollos tecnológicos, creando proyectos y asignándoles recursos iniciales en términos de financiamiento, capacidades de gestión y aprendizaje organizacional. Esta función se fundamenta en el enfoque Technology Push, que señala a la universidad como agente de origen de innovaciones derivadas de la investigación académica (Balconi et al., 2010). En este sentido, las variables “estrategia y planificación de la TT” y “recursos financieros” se constituyen en determinantes clave (Etzkowitz & Leydesdorff, 2000)
- Proyecto – Universidad: los proyectos generan regalías a las universidades a partir de su TRL 7 o superior, de igual forma aportan aprendizaje en cuanto lograr su desarrollo tecnológico
- Empresa – Proyectos: las empresas, en función de sus intereses y capacidades de absorción, invierten en proyectos con TRL  $\geq$  4 para favorecer su escalamiento hacia etapas más avanzadas (TRL 7–9). Esta dinámica refleja la transición hacia un enfoque Market Pull, donde el sector empresarial orienta y acelera el proceso de innovación hacia el mercado (Siegel et al., 2007)
- Proyecto – Empresa: a partir de la generación de la alianza y después que el proyecto alcanza la TRL 7 o superior, el proyecto otorga riqueza a las universidades y empresas (regalías)

**4.2.2.2 Entorno del modelo.** Los agentes (proyectos, universidades y empresas), interactúan entre sí en un mismo entorno. En términos de representación gráfica en la simulación computacional cada universidad toma de manera aleatoria un espacio del tablero, en esta zona se encuentran la mayoría de los proyectos por cada universidad, a continuación, se describen aspectos importantes del entorno del modelo:

- Espacio donde operan los agentes (universidad, empresa, proyectos)
- Representación geográfica de las universidades
- Las empresas pueden moverse libremente para buscar proyectos
- Las relaciones de conexión entre universidades y empresas se hacen a través de proyectos

#### ***4.2.2.1.1 Definición de agentes y condiciones iniciales del modelo***

### **Universidades**

Las universidades representan los centros de generación de conocimiento y desarrollo tecnológico a través de la creación de proyectos. Su configuración inicial se estableció de la siguiente manera:

- Se crean dos universidades con un área de influencia determinada y aleatoria, diferenciada por colores en el mapa.
- Su posición es aleatoria dentro del entorno, sin posibilidad de movimiento.
- Se asigna una riqueza inicial de forma aleatoria. (Esta condición puede ser adaptada con un switch o selector, teniendo en cuenta los datos reales entregados por las oficinas de TT).
- Cada año se genera de nuevo una riqueza aleatoria (esto simula el presupuesto anual para TT en las universidades).
- Se asigna un nivel de aprendizaje organizacional representado de manera aleatoria.
- Se define un número aleatorio de proyectos. (Esta condición puede ser adaptada con un switch teniendo en cuenta los datos reales entregados por las oficinas de TT).

### **Empresas**

Las empresas actúan como agentes interesados en la adopción de tecnologías desarrolladas en las universidades. Su configuración inicial incluye:

- Creación de un número determinado de empresas de manera aleatoria.
- Posicionamiento aleatorio en el mapa, con capacidad de movimiento.
- Asignación de una riqueza inicial aleatoria.

- Definición de un nivel de aprendizaje aleatorio.

### **Proyectos tecnológicos**

Los proyectos representan las iniciativas tecnológicas que pueden ser desarrolladas, financiadas y transferidas. Su configuración inicial es la siguiente:

- Se inicializa un número determinado de proyectos de manera aleatoria para cada universidad, representando la cartera de desarrollos tecnológicos con la que inicia el modelo. Cada proyecto se conecta de manera aleatoria a una sola universidad.
- Se asigna una TRL aleatorio entre 1 y 9.
- Se establece un presupuesto inicial aleatorio.
- Se define un tiempo de desarrollo aleatorio.
- Muerte de los proyectos cuando llegan a un tiempo límite en el modelo.

El modelo contempla la renovación constante de proyectos tecnológicos, a través de la creación de nuevos proyectos cuando los anteriores llegan a su fase de obsolescencia. Las reglas para esta generación son:

- Al morir un proyecto, se crea uno nuevo en la universidad residente.
- Todos los nuevos proyectos inician con TRL 1.
- Se asigna un presupuesto inicial aleatorio.
- Se define un aprendizaje inicial con valor de 1.

#### ***4.2.2.1.2 Reglas de interacción entre los agentes***

Las relaciones entre universidades, empresas y proyectos como agentes del modelo se estructuran bajo las siguientes reglas:

##### **1. Búsqueda de proyectos**

- Las empresas buscan proyectos en función de sus necesidades, pero solo establecen alianzas con proyectos que tengan un TRL igual o superior a 4.

## **2. Costo de búsqueda**

- Cada movimiento de una empresa en la búsqueda de proyectos implica una pérdida de riqueza, reflejando los costos asociados a la gestión y exploración de oportunidades en términos de alianzas con universidades.

## **3. Financiamiento y evolución del TRL**

- Las universidades asignan recursos de su riqueza a los proyectos para aumentar su TRL y avanzar en su desarrollo tecnológico.

## **4. Alianzas empresa-proyecto-universidad**

- Cuando una empresa establece una conexión con un proyecto, el modelo asigna recursos de inversión que incrementan progresivamente su nivel de TRL hasta alcanzar un valor igual o superior a 7, momento en el cual el proyecto puede considerarse transferible y generar retornos simulados de riqueza tanto para la universidad como para la empresa.

## **5. Límites en el desarrollo de los proyectos**

- Los proyectos pueden alcanzar un TRL máximo de 9.

## **6. Obsolescencia y duración de los proyectos**

- Después de 15 años los proyectos expiran debido a la obsolescencia tecnológica y la caducidad de su propiedad intelectual. Si bien en la realidad algunos desarrollos pueden mantenerse vigentes mediante procesos de mejora continua o innovación incremental, en este modelo se optó por una

representación simplificada que permite capturar la rotación natural de proyectos en las universidades.

- Este período de 15 años se basa en el ciclo de vida promedio de patentes, registros de invención y modelos de utilidad.
- Después de la muerte de un proyecto nace un nuevo proyecto en su lugar e inicia de nuevo el ciclo.

#### **7. Capacidad de gestión de empresas**

- Cada empresa puede gestionar un máximo de 3 proyectos simultáneamente.

#### **8. Muerte de empresas**

- Si una empresa alcanza una riqueza negativa, se considera que ha salido del sistema, dejando de buscar y gestionar proyectos con las universidades.

#### **9. Gestión de los proyectos por parte de las universidades**

- Las universidades acompañan e invierten en los proyectos en sus primeras fases de desarrollo de su TRL (menor o igual a 4), a partir de este momento se espera conectar con una empresa para compartir inversión y trabajo conjunto para el desarrollo de la TRL del proyecto.
- Las universidades generan convocatorias cada 6 meses, teniendo en cuenta diferentes condiciones que dan prevalencia para la selección de proyectos a los cuales se les entregará recursos (riqueza), tales como TRL avanzadas (4,5,6 y 7), proyectos con enlaces activos con empresas y proyectos con mejores niveles de riqueza.

**Escenarios por evaluar:** los escenarios de simulación se definieron como base en las variables identificadas en el marco teórico y en el proceso de selección de variables, buscando aportar evidencia empírica para la discusión teórica sobre la TT en las universidades, de esta manera se describen a continuación las condiciones que serán objeto de estudio en el desarrollo del modelo y la simulación a través de la experimentación:

- Aumento o disminución de recursos financieros (Riqueza): permiten analizar cómo la disponibilidad de riqueza en las universidades influye en su capacidad de iniciar y sostener proyectos, contribuyendo a la literatura sobre la relevancia de las capacidades financieras internas en la TT.
- Aumento o disminución de los proyectos: permiten observar la influencia del volumen de proyectos en el desempeño de la TT, aportando al debate sobre economías de escala y diversificación de portafolio tecnológico.
- Umbral óptimo de la TRL para la transferencia tecnológica: explora el impacto de establecer diferentes niveles mínimos de madurez tecnológica para la transferencia, lo que contribuye a discutir en qué etapa del ciclo de vida un proyecto tiene mayor probabilidad de éxito en su comercialización.
- Evolución de la TRL en los proyectos: analizan cómo la progresión en los niveles de madurez depende de la interacción universidad–empresa.

#### ***4.2.2.1.3 Objetivos del modelo***

- **Comprender las dinámicas de relación entre las universidades y empresas** a través de los proyectos de TT. Se analizarán las interacciones, decisiones y efectos de estas alianzas para la generación de aprendizaje y riqueza.
- **Explorar la evolución de la investigación en las universidades**, considerando un enfoque inicial de Technology Push, donde las universidades generan conocimiento y tecnologías sin un receptor específico (Balconi et al., 2010) y su posterior transición cuando se alinean con las de necesidades del sector empresarial en un modelo de Market Pull (Stefano et al., 2012).
- **Identificar los factores que determinan el desempeño de la TT, evaluando** variables como inversión, nivel de madurez tecnológica (TRL) de los proyectos, alianzas estratégicas y número de proyectos.
- **Validar el modelo a partir de la experimentación**, contrastando los resultados con las condiciones reales de los procesos de TT en las universidades, se utilizaron escenarios de simulación para analizar el impacto de diferentes condiciones y estrategias para mejorar los procesos de la TT.

- **Comparación entre escenarios.** Analizar y comparar los resultados de la simulación en diferentes escenarios para identificar patrones de comportamiento de los agentes en el marco de sus procesos de TT.
- **Proponer políticas y estrategias para mejorar el desempeño de la TT en las universidades,** estableciendo recomendaciones basadas en los resultados de la investigación para fortalecer los procesos de colaboración entre las universidades y las empresas.

El modelo permitió generar evidencia cuantitativa sobre el comportamiento de los agentes en los procesos de TT en las universidades y facilitará la toma de decisiones estratégicas en el ámbito de sus procesos.

**4.2.2.1.4 Aspectos excluidos del modelo:** Con el propósito de construir un modelo concreto, sencillo y coherente con el comportamiento real de los agentes, y considerando los datos recolectados en las universidades, así como fuentes secundarias asociadas a la TT, se decidió excluir del análisis una evaluación directa del nivel de aprendizaje. Si bien este se representa en el modelo mediante valores enteros generados aleatoriamente, estas cifras constituyen únicamente una aproximación numérica orientada a ilustrar el comportamiento del aprendizaje como variable de análisis. Esta decisión se fundamenta en las respuestas proporcionadas por las universidades participantes, quienes reconocieron de manera unánime la generación de conocimiento como un activo clave en los procesos de TT. Independientemente del éxito o fracaso del proyecto, se evidenció que en todos los casos los equipos de trabajo generaron nuevos aprendizajes y conocimiento.

En cuanto a las regalías derivadas de los proyectos transferidos, se establecieron parámetros aproximados que permitieron representar retornos económicos dentro del modelo. No obstante, debido a que las universidades no contaban con datos detallados sobre los valores individuales por proyecto, no fue posible calcular un promedio confiable de retorno económico. A pesar de esta limitación, se definió un parámetro general que, con base en los datos disponibles, simula el retorno de la riqueza tanto para las universidades como para las empresas involucradas en el proceso de TT.

Asimismo, el modelo no contempla una definición o agrupación de proyectos por áreas tecnológicas, ya que este no es uno de los objetivos de la investigación. En consecuencia, no se diferencian los proyectos según su campo de aplicación o enfoque temático y únicamente se consideran variables asociadas al nivel de madurez tecnológica (TRL), riqueza asignada y número de proyectos.

Con el fin de mantener el modelo claro, concreto y sencillo, pero sin apartarse de las condiciones esenciales que caracterizan la transferencia tecnológica en la realidad y en coherencia con el objetivo de esta investigación, se decidió excluir otros aspectos del sistema real, entre ellos:

- **Convocatorias externas de financiamiento (públicas y privadas).** Si bien en un entorno real se presentan diferentes fuentes de financiamiento externas para los proyectos, la mayoría se canalizan a través de las universidades de forma directa, en cuanto a los otros mecanismos se excluyeron para mantener el modelo en un nivel de complejidad manejable.
- **Financiamiento adicional para las empresas.** El modelo solo contempla un inicio inicial de inversión para la búsqueda e inyección de riqueza por parte de las empresas a los proyectos, la manera de mantenerse en el modelo es a través de la generación de regalías por parte de los proyectos con TRL 7 o superior.
- **Procesos de innovación incremental y de mejora continua.** El modelo solo tuvo en cuenta el desarrollo normal de la tecnología, sin involucrar innovaciones incrementales o mejoras continuas que si bien en la realidad existen pueden constituir más una familia de patentes o nuevos desarrollos, por lo cual se decidió concentra la dinámica de los proyectos a un tiempo reconocido en la literatura y en las normativas de propiedad intelectual para la obsolescencia o caducidad de los registros.
- **Colaboración interuniversitarias y alianzas entre múltiples empresas.** Estas dinámicas se omitieron del modelo para focalizar la simulación en las interacciones bilaterales universidad–empresa.

#### ***4.2.3 Calibración y verificación del modelo conceptual utilizando simulación en NetLogo®***

Con el propósito de realizar una calibración y verificación de la estructurada del modelo conceptual definido, se ha seleccionado el software de uso libre NetLogo® como plataforma de simulación, esto debido a su capacidad para representar sistemas complejos y facilitar la observación de comportamientos emergentes derivados de reglas simples de interacción entre agentes (Wilensky, 1999). Este software ofrece una interfaz accesible y con un entorno de programación orientado a facilitar la construcción de modelos multiagente lo que lo convierte en una muy buena herramienta para investigaciones disciplinarias (Tisue & Wilensky, 2004).

Diferentes investigadores han empleado NetLogo® para simular fenómenos complejos en distintos campos, como es el caso de An et al., (2009) quienes emplearon el software para modelar dinámicas del sistema inmunológico humano, por su parte Gkiolmas et al. (2012) lo utilizaron para facilitar el aprendizaje de entornos en educación secundaria. En cuanto al contexto empresarial, Umlauf y Schranz (2023) demostraron su aplicabilidad para simular grandes plantas de producción, evaluando su desempeño en entornos de manufactura. En el ámbito latinoamericano y de la educación, Yepes (2022) desarrolló un MBA utilizando NetLogo® con el fin de analizar las dinámicas de los proyectos de I+D+i dentro del contexto del “Valle de la muerte”. Estos estudios evidenciaron el potencial del software para sintetizar comportamientos organizacionales y generar insumos para la toma de decisiones estratégicas y políticas de innovación.

De esta manera el uso de NetLogo® en la investigación no solo responde a criterios de funcionalidad técnica y validación científica, sino que también se alinea con estudios previos exitosos en el modelado de fenómenos complejos en contextos académicos, sociales y empresariales.

**4.2.3.1 Detalles del modelo.** En este apartado se presenta la arquitectura detallada del modelo MBA, implementado para su desarrollo NetLogo® (versión 6.4.0). El modelo busca representar la evolución del proceso de TT en contexto reales, haciendo explícita la influencia en la generación de proyectos tecnológicos por parte de las universidades, el nivel de madurez tecnológico de los proyectos (TRL), el número de empresas, los flujos de riqueza invertidos por las universidades y las empresas, el aprendizaje organizacional y el retorno sobre la inversión realizada por las universidades.

**4.2.3.1.1 Inicialización del modelo.** Durante el procedimiento de inicialización, se configura el entorno de la simulación (figura 17) mediante la creación aleatoria o controlada de agentes representativos (universidades, empresas y proyectos). La asignación de atributos iniciales sigue distribuciones empíricas normalizadas y se ajustan a los datos reales recolectados en las áreas de TT adscritas a las universidades objeto de estudio y de los datos secundarios obtenidos.

- **Universidades:** se generan dos universidades con localización aleatoria, aprendizaje aleatorio y riqueza definida a partir de un análisis estadístico de los datos entregados por las universidades. Cada universidad posee un área de influencia geográfica definida de manera aleatoria, dentro de la cual se ubican la mayoría de sus proyectos. Esta zona simula el entorno de la universidad. Cada

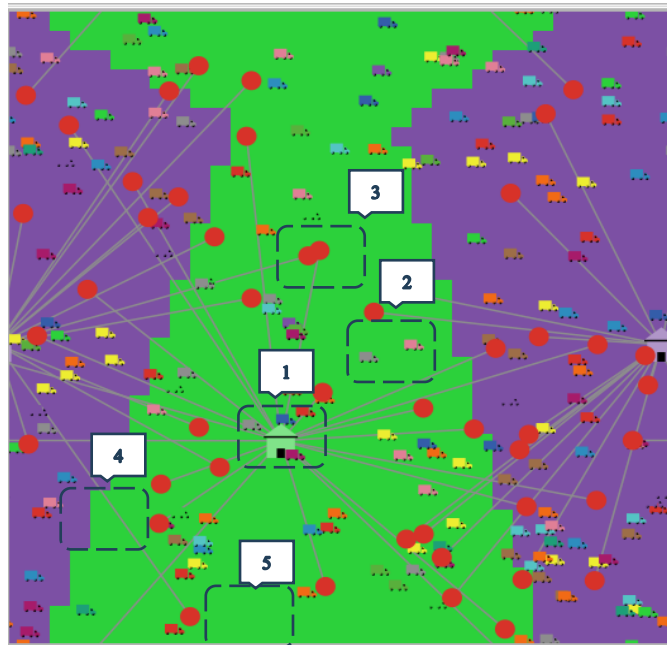
universidad crea una convocatoria para asignación de riqueza a los proyectos cada 24 ticks (6 meses en Netlogo).

- **Empresas:** se crean aleatoriamente entre 60 y 800 empresas, distribuidas en el entorno espacial, con riqueza y aprendizaje aleatorios. Estos datos son sustentados a través de fuentes secundarias que dan cuenta del número de empresas en Colombia que invierten en actividades de Ciencia, Tecnología e Innovación y que tienen alianzas estratégicas con Universidades (OCyT, 2023).
- **Proyectos:** Los proyectos se ligan inicialmente a universidades específicas. Se les asigna un TRL entre 1 y 9 de manera aleatoria, riqueza inicial aleatoria, duración máxima de vida 720 ticks lo cual es equivalente a 15 años en NetLogo y una conexión directa con una sola universidad. Los proyectos nuevos heredan las características de los proyectos antiguos, pero inician con TRL 1.

La inicialización guarda coherencia con las prácticas de modelado en MBA que recomiendan considerar tanto las condiciones iniciales homogéneas como distribuciones empíricas para reforzar la validez del modelo (Guerini & Moneta, 2016).

### Figura 17

*Visualización del mundo en NetLogo – TT Universitaria*



Nota. Elaboración propia a partir de la codificación del modelo en Netlogo. Ottino, B., Stonedahl, F. & Wilensky, U. (2025).

A continuación, se realiza una descripción de cada uno de los aspectos visualizados en la interfaz del mundo propuesto en Netlogo® para los procesos de TT universitaria:

- Etiqueta 1: muestra cómo se representan las universidades en el mundo (Casas)
- Etiqueta 2: muestra cómo se representan las empresas en el mundo (Camiones)
- Etiqueta 3: señala cómo se representan los proyectos en la simulación. Los proyectos que nacen con la simulación son representados como círculos rojos, los proyectos nuevos son círculos verdes.
- Etiqueta 4: señala las líneas de conexión entre los proyectos, las universidades y las empresas en representación de la alianza.
- Etiqueta 5: representa las zonas de influencia directa de las universidades, en este caso toda la zona de color verde representa la zona de influencia de la universidad (Casa) verde y la morada pertenece a la universidad de ese mismo color.

Los colores de las universidades, empresas y zona de influencia son determinados de manera aleatoria en cada una de las rondas de simulación.

**4.2.3.2 Datos de entrada y calibración de variables.** Con el objetivo de realizar la calibración del modelo, se tuvieron en cuenta los datos recolectados de las universidades con relación a las tres variables de entrada definidas partiendo de las variables seleccionadas por los expertos y clasificadas posteriormente para la simulación computacional en Netlogo®. Estas son:

- **Riqueza de las universidades:** Recursos financieros para la TT
- **Número de proyectos por la universidad:** Estrategia y planificación de la TT
- **TRL umbral** (definido como criterio estratégico para habilitar la transferencia): Estrategia y planificación de la TT

Para garantizar la solidez del proceso de calibración y el posterior análisis de sensibilidad aplicado al modelo de TT desarrollado en NetLogo®, se utilizó un enfoque de muestreo estructurado con el fin de explorar de manera eficiente el espacio paramétrico y calibrar el modelo en función de los datos reales obtenidos de las universidades.

El diseño experimental parte del principio de que el uso de métodos de muestreo apropiados en modelos de simulación mejora significativamente la validez de los resultados y permite identificar las

relaciones complejas entre las variables, específicamente en sistemas no lineales como es el caso de los procesos de innovación y TT (Saltelli et al., 2008).

Inicialmente se identificó una disonancia entre los valores teóricos considerados en versiones preliminares del modelo y la realidad observada. Por ejemplo, la inversión por parte de las universidades en procesos de TT oscila entre 10 y 500 millones de pesos anuales, según los rangos entregados por las universidades. El número total de proyectos activos, de acuerdo con los niveles de TRL reportados, oscila entre 6 y 184 proyectos, con TRL en diferentes niveles, lo que indica que muchas universidades gestionan de manera simultánea una amplia cartera de proyectos. Asimismo, las universidades consideran que los niveles de TRL óptimos para una adecuada TT son desde una TRL 4 hasta una TRL 6, lo que coincide con las etapas de validación experimental, donde se inicia la preparación para la transferencia a la industria (NASA, 2012; García et al., 2019).

Ante estos hallazgos, se identificaron los rangos de las variables del modelo de la siguiente manera (Tabla 22).

**Tabla 22**

*Rango de datos reales de las variables objeto de estudio*

<b>Variable</b>	<b>Rango corregido</b>	<b>Justificación</b>
<b>Riqueza</b>	10 a 500 millones	Datos reales de inversión por universidad
<b>Número de proyectos</b>	6 a 184	Total, de proyectos activos observados
<b>TRL Umbral</b>	4 a 6	Nivel óptimo de TRL para la TT (Definido por las universidades)

**4.2.3.2.1 Elección del método de muestreo.** Para llevar a cabo la etapa de análisis estadístico para la calibración del MBA, se optó por el uso del método **Latin Hypercube Sampling (LHS)**. Esta técnica desarrollada por MacKay et al. (1979), comprende un enfoque eficiente que permite explorar espacios paramétricos multidimensionales en modelos computacionales complejos, a diferencia del muestreo aleatorio simple, el LHS divide el rango de cada parámetro en N estratos de igual probabilidad y selecciona aleatoriamente un valor dentro de cada uno, asegurando así una mejor representación del espacio de parámetros con un menor número de simulaciones.

El uso de LHS ha sido utilizado en contextos de simulación de procesos complejos, tales como de economía del conocimiento, innovación tecnológica y modelación ambiental, donde las relaciones no lineales y la incertidumbre de los parámetros hacen que este tipo de muestreo estructurado sea muy útil (Helton & Davis, 2003; Marino et al., 2008). En investigaciones orientadas al análisis de sensibilidad, Blatman y Sudret (2010), destacan su capacidad para reducir la varianza en las estimaciones de salida, lo que mejora la eficiencia y estabilidad del modelo.

**4.2.3.2 Implementación del muestreo por la variable “Riqueza”.** La primera variable analizada en el proceso de calibración fue “Riqueza”, esta fue definida como el promedio anual de inversión realizada por las universidades en procesos de TT. Esta inversión incluye actividades tales como, capacitación de personal, financiación de proyectos, gestión de la PI, infraestructura de I+D, validación tecnológica, entre otros componentes críticos del proceso de TT en las universidades.

Los datos recolectados de las siete universidades pertenecientes a los departamentos de Antioquia y Risaralda fueron organizados en rangos categóricos según el monto anual de inversión. Para convertir estos rangos en valores continuos utilizables en la simulación, se asignaron valores representativos según el punto medio de cada intervalo, como se muestra en la Tabla 23.

**Tabla 23**

*Valores representativos de la variable “Riqueza”*

<b>Rango de inversión anual (COP)</b>	<b>Valor representativo (millones COP)</b>	<b>Número de universidades en este rango</b>
<b>1 a 10 millones</b>	5.5	0
<b>10 a 50 millones</b>	30	1
<b>50 a 100 millones</b>	75	2
<b>100 a 500 millones</b>	300	2
<b>Más de 500 millones</b>	700 (valor estimado)	2

A partir de los datos recopilados en las universidades objeto de estudio, se estableció que el rango de inversión anual en procesos de TT oscila entre 5.5 y 700 millones de pesos colombianos. Este rango fue adoptado como espacio paramétrico para el LHS.

Se generaron entonces un total de 100 combinaciones únicas de valores usando la librería lhs en el lenguaje de programación de R, para esto se utilizó “Posit Cloud” como plataforma de procesamiento de datos de R, con el siguiente código:

```
library(lhs)
n <- 100
lhs_sample <- randomLHS(n, 1)
inversiones <- lhs_sample * (700 - 5.5) + 5.5
inversion_df <- data.frame(ID = 1:n, Riqueza = inversiones)
```

La Tabla 24 y la Figura 18, presentan el análisis descriptivo de los 100 valores generados para la variable riqueza en R. los resultados muestran una distribución simétrica y homogénea, coherente con las características del LHS.

**Tabla 24**

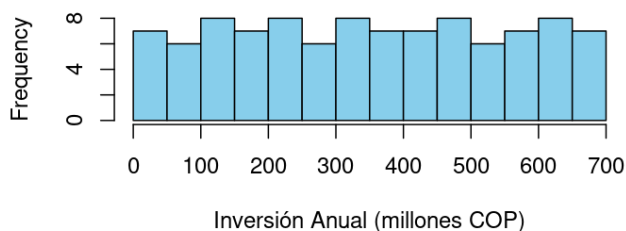
*Estadísticas descriptivas de la variable “Riqueza”*

Métrica	Valor (millones COP)
Número de muestras	100
Media	352.58
Desviación estándar	201.66
Mínimo	10.99
Percentil 25 (Q1)	177.83
Mediana (Q2)	353.08
Percentil 75 (Q3)	526.21
Máximo	698.36

Nota. Elaboración propia a partir del uso del software R.

**Figura 18**

*Distribución LHS – Variable Riqueza*



Nota. Elaboración propia a partir del uso del software R.

Como se observa en la Tabla 24, la media y la mediana están muy próximas (352.58 y 353.08 millones de pesos, respectivamente), esto indica una distribución equilibrada. La desviación estándar de 201.66 millones de pesos refleja la amplia dispersión de capacidades de inversión que existe en las universidades, permitiendo entonces modelar realidades muy diversas, desde instituciones con recursos limitados hasta universidades con buena capacidad financiera para los procesos de TT.

A partir del análisis estadístico se definieron tres rangos calibrados que serán insumo para el análisis de sensibilidad del modelo (Tabla 25).

**Tabla 25**

*Rango calibrado de inversión anual para simulación*

Nivel de inversión	Rango (millones COP)	Criterio de clasificación
<b>Bajo</b>	0 – 150	Universidades con recursos limitados
<b>Medio</b>	150 – 500	Inversión promedio o moderada
<b>Alto</b>	Más de 500	Instituciones con alta capacidad de inversión

El uso del LHS para calibrar la variable “Riqueza” permitió construir una base metodológica adecuada para la simulación. El rango de calibración para el análisis de sensibilidad determinado es de 10.99 a 698 millones de pesos por aproximación de 11 a 698 millones de pesos (Datos que corresponden al valor mínimo y máximo generados por LHS).

**4.2.3.2 Implementación del muestreo por la variable “Número de proyectos”.** La segunda variable incluida en el proceso de calibración corresponde al número de proyectos gestionados por las universidades, clasificados según su TRL. Esta variable representa la capacidad de las instituciones y el volumen de iniciativas potencialmente transferibles, convirtiéndose en un insumo importante para la simulación.

Los datos recolectados muestran un panorama diverso, mientras algunas universidades gestionan en su portafolio entre 6 y 10 proyectos, otras pueden llegar a superar los 150 proyectos. Esta dispersión justifica la necesidad de construir una muestra amplia y continua que represente fielmente la diversidad de las universidades.

A partir de los datos obtenidos como el mínimo y máximo de proyectos por las universidades (6 y 184), se definió un rango empírico para la generación de 100 muestras simuladas mediante LHS. El procedimiento se llevó a cabo en el entorno de R (Posit Cloud) utilizando la Librería lhs, con el siguiente código:

```
library(lhs)
n <- 100
lhs_sample <- randomLHS(n, 1)
proyectos <- lhs_sample * (184 - 6) + 6
proyectos <- round(proyectos)
df_proyectos <- data.frame(ID = 1:n, Num_Proyectos = proyectos)
```

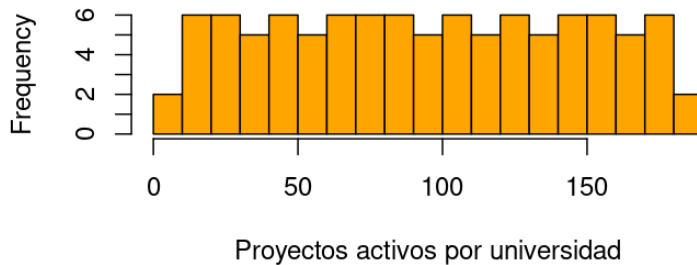
la Tabla 26 y la Figura 19 presentas el análisis descriptivo de los 100 valores generados para la variable “Número de proyectos” en R. los resultados muestran una distribución amplia y balanceada a lo largo del rango simulado, con una cobertura uniforme del espacio paramétrico, lo cual es coherente con las propiedades del LHS.

**Tabla 26**

*Estadísticas descriptivas de la variable “Número de proyectos”*

<b>Métrica</b>	<b>Valor</b>
<b>Número de muestras</b>	100
<b>Media</b>	87.60
<b>Desviación estándar</b>	54.43
<b>Mínimo</b>	1
<b>Percentil 25 (Q1)</b>	41.25
<b>Mediana (Q2)</b>	85.00
<b>Percentil 75 (Q3)</b>	135.25
<b>Máximo</b>	183

Nota. Elaboración propia a partir del uso del software R.

**Figura 19***Distribución LHS – Número de proyectos*

Nota. Elaboración propia a partir del uso del software R.

Como se observa en la Tabla 26 y la Figura 19, la distribución generada por LHS presenta una cobertura uniforme del espacio paramétrico. La media fue de 87.60 y la mediana de 85.00 se ubican en valores muy similares y los cuartiles reflejan una dispersión realista del número de proyectos que podrían tener las universidades simuladas. Esto permite que el modelo contenga escenarios en donde las universidades tengan baja capacidad y otras que tenga la capacidad en la generación de proyectos tecnológicos (Tabla 27).

**Tabla 27***Rango calibrado del número de proyectos para simulación*

Nivel de actividad de TT	Rango (número de proyectos)	Criterio de clasificación
<b>Bajo</b>	1 – 40	Universidades con baja capacidad
<b>Medio</b>	41 – 130	Universidades con capacidad media o estándar
<b>Alto</b>	Más de 130	Alta capacidad de gestión de proyectos por parte de las Universidades

La calibración de la variable “Número de proyectos” a través de LHS permitió identificar diferentes escenarios en términos de las capacidades para la generación de proyectos por parte de las universidades localizándolas en baja, media o estándar y alta. El rango de calibración definido quedó entre 1 y 183 proyectos, estos datos serán utilizados para explorar la sensibilidad del modelo, frente a variaciones en la capacidad de generación de proyectos por parte de las universidades.

**4.2.3.2.3 Implementación del muestreo por la variable “TRL-umbral”.** La tercera variable considerada para la calibración del modelo es el TRL umbral adecuado para la TT. Este indicador permite estimar el grado de desarrollo de las tecnologías antes de su transferencia al sector empresarial, esto constituye un factor clave en el modelo dado que puede dar como resultado el éxito o el fracaso de la transferencia (NASA, 2012; Gracía et al., 2019).

Los datos recolectados fueron organizados en tres categorías (Tabla 28), de acuerdo con el marco de TRL:

**Tabla 28**

*Valor promedio representativo de la variable TRL -Umbral*

Rango TRL	Categoría	Valor promedio representativo
TRL 1–3	Investigación básica y aplicada	2
TRL 4–6	Desarrollo experimental y validación	5
TRL 7–9	Demostración y comercialización	8

Estos valores representativos (Tabla 28) fueron utilizados para transformar los datos en categóricos en una escala numérica continua, que sirvió como insumo para la generación de muestras simuladas a través de LHS.

La muestra fue generada utilizando la librería lhs en el lenguaje de programación R, con un total de 100 combinaciones únicas dentro del rango definido de 2 a 8. El código utilizado fue el siguiente:

```
library(lhs)
n <- 100
lhs_sample <- randomLHS(n, 1)
trl_umbral <- lhs_sample * (8 - 2) + 2
trl_umbral <- round(trl_umbral, 1)
df_trl <- data.frame(ID = 1:n, TRL_Umbral = trl_umbral)
```

El resultado muestra una distribución continua de valores simulados que cubren de forma uniforme el espectro de posibles niveles de TRL que pueden alcanzar los proyectos antes de ser transferidos. La distribución se muestra en la Tabla 29.

**Tabla 29***Estadísticas descriptivas de la variable "TRL Umbral"*

<b>Métrica</b>	<b>Valor</b>
<b>Número de muestras</b>	100
<b>Media</b>	87.60
<b>Desviación estándar</b>	54.43
<b>Mínimo</b>	1
<b>Percentil 25 (Q1)</b>	41.25
<b>Mediana (Q2)</b>	85.00
<b>Percentil 75 (Q3)</b>	135.25
<b>Máximo</b>	183

Nota. Elaboración propia a partir del uso del software R.

Los resultados muestran que la media 5.01 y la mediana 5.05 se encuentran muy próximas, lo cual indica una distribución balanceada y coherente con las propiedades del LHS. La desviación estándar fue 1.74 lo cual muestra una cobertura adecuada del rango simulado, abarcando desde etapas tempranas de desarrollo hasta etapas más avanzadas para la transferencia de los proyectos.

Con base en los datos generados, se establecieron los siguientes rangos (Tabla 30) para utilizar en la calibración de los agentes en NetLogo®:

**Tabla 30***Rango calibrado del TRL Umbral para simulación*

<b>Nivel de madurez alcanzado</b>	<b>Rango TRL promedio</b>	<b>Criterio de clasificación</b>
<b>Bajo</b>	2 – 3.4	Predominancia en etapas iniciales de la investigación
<b>Medio</b>	3.5 – 6.5	Validación y desarrollo experimental
<b>Alto</b>	6.6 – 8	Alta preparación para la transferencia

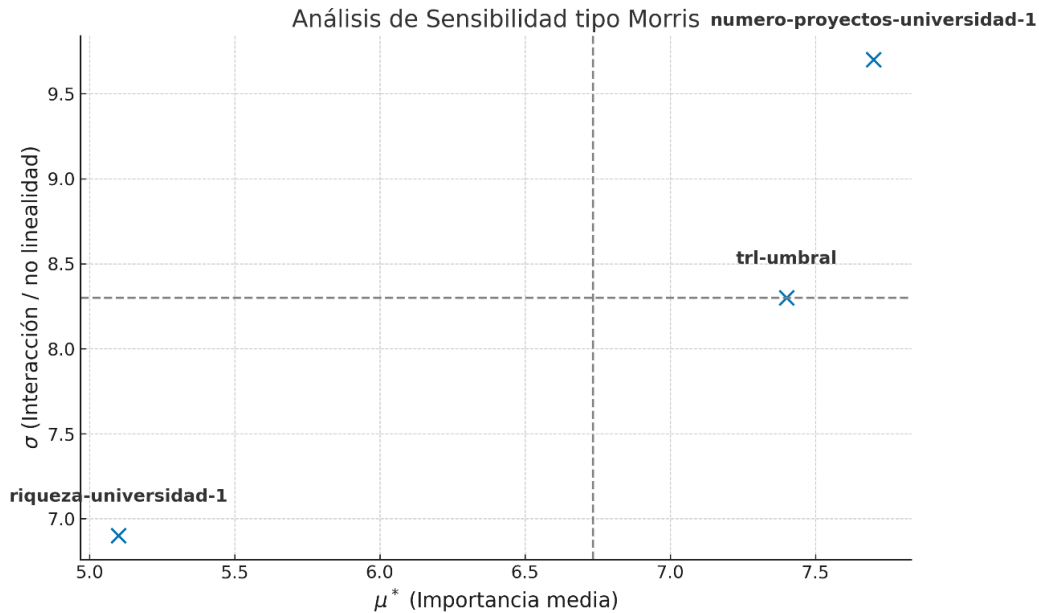
La incorporación de la variable “TRL-Umbra1”, permitió modelar de manera más realista los niveles alcanzados por los proyectos al momento de ser transferidos y cómo estos pueden influir en el desempeño del proceso de TT. El uso de LHS garantizó una cobertura uniforme del espacio paramétrico, lo cual fue esencial para el análisis de sensibilidad realizado en la investigación. El rango final definido fue de la TRL 2 a la TRL 8, este será utilizado como parámetro de variación para explorar en la experimentación cómo la madurez tecnológica de los proyectos afecta el comportamiento del sistema en los procesos de TT.

**4.2.3.3 Análisis de sensibilidad del modelo.** Como parte del proceso de calibración del modelo de simulación basado en agentes desarrollado en Netlogo®, se realizó un análisis de sensibilidad global utilizando el método de Morris, el cual permite evaluar la influencia relativa de las variables de entrada sobre las variables de salida del sistema, este método fue útil para identificar variables con efectos no lineales o interacciones relevantes (Morris, 2991). Para el caso de esta investigación la variable de salida fue definida como el número de proyectos que alcanzan una TRL igual o superior a 7, esta decisión se fundamenta en la literatura científica que muestra este umbral como un punto de transición importante entre la etapa del desarrollo tecnológico validado en un entorno real y la fase de preparación para la transferencia y adopción de la tecnología por parte del sector productivo (Rodríguez et al., 2019; García et al., 2019). Según la NASA (2012) y la Comisión Europea (Héder, 2017), los niveles de TRL 7 a TRL 9 corresponden a tecnologías maduras, probadas en entornos operativos y listas para ser implementadas.

El análisis se realizó a partir de un diseño experimental estructurado a través de la técnica de LHS. Posteriormente se empleó la función “morris” del paquete “sensitivity” en R para estimar el efecto de cada una de las variables calibradas sobre la variable objetivo. El gráfico de salida del análisis de Morris (Figura 20) muestra la relación entre dos importantes métricas:  $\mu^*$  (medida de los efectos absolutos), que representa la influencia media de cada variable sobre la variable de salida  $\sigma$  (desviación estándar), que captura la presencia de no linealidades e interacciones entre variables (Saltelli et al., 2008; Blatman & Sudret, 2010; Thiele et al., 2014).

**Figura 20**

*Análisis de sensibilidad de Morris – Variables “número-proyectos-universidad”, “TRL Umbral” y “riqueza-universidad”*



Nota. Elaboración propia a partir del uso del software R.

El análisis muestra que la variable “número-proyectos-universidad-1” presenta la mayor influencia directa sobre la cantidad de proyectos que alcanzan niveles de TRL avanzada ( $\mu^* \approx 7.7$ ), además de presentar una desviación estándar elevada ( $\sigma \approx 9.7$ ), lo cual sugiere que su efecto no solo es significativo, sino también condicionado por interacciones con otras variables del modelo. Esto guarda relación con los resultados encontrados previamente en el proceso de calibración de las variables, donde se muestra que el volumen de proyectos representa un factor clave en el desempeño de la TT en las universidades, al incrementar la probabilidad de alianzas universidad-empresa y acelerar la maduración de las tecnologías (RailMBAck & Grimm, 2019; Vermeulen & Pyka, 2016).

El análisis muestra que la segunda variable más influyente es “trl-umbral” con un  $\mu^* \approx 7.4$ , y  $\sigma \approx 8.3$ , lo cual indica que la definición del umbral para la TRL también determina significativamente el desempeño del modelo. Un umbral de TRL elevado exige una mayor inversión por parte de las universidades y una mayor coordinación entre los agentes, pero también puede actuar como un mecanismo de selección que favorezca a los proyectos con mayor potencial de adopción tecnológica por parte del sector productivo (NASA, 2012; García et al., 2019).

Finalmente, la variable “riqueza-universidad-1” mostró un impacto comparativamente menor ( $\mu^* \approx 5.1$ ,  $\sigma \approx 6.9$ ), aunque sigue siendo relevante en el modelo. Esto sugiere que la disponibilidad de recursos, si bien es necesaria en el modelo, no es por sí mismo un factor determinante para el éxito de la TT en las universidades, a menos que este acompañada de una adecuada capacidad de gestión de proyectos, políticas y estrategias adecuadas que fortalezcan la relación con las empresas. Este resultado guarda coherencia con estudios que indican que la inversión en TT debe estar acompañada de capacidades organizacionales, incentivos adecuados y políticas de gobernanza para ser mucho más efectiva (Macal & North, 2010; Triulzi et al., 2014).

En conjunto, el análisis de Morris permitió no solo establecer la jerarquía de influencia entre las variables calibradas, sino también observar la complejidad de las interacciones entre ellas en el modelo. Estos resultados refuerzan la validez del enfoque de la MBA adoptado en la investigación, al permitir representar de forma explícita la heterogeneidad, las interdependencias y los efectos emergentes de las decisiones de las universidades alrededor de sus procesos de TT.

#### **4.2.4 Validación del modelo**

Siguiendo a Sargente (2013), la validación del modelo se realizó siguiendo el juicio de expertos (fase validity). Esta validación se orientó a confirmar la pertinencia, consistencia y realismo del modelo de simulación desarrollado para representar la dinámica de los procesos de TT en las universidades enmarcado en la creación de alianzas con las empresas. Para esto se utilizó la técnica de juicio de expertos, por medio de la cual se consultó a tres especialistas con experiencia en procesos de vinculación universidad-empresas y en gestión de oficinas de TT en las universidades (Un Doctor en Ingeniería, con formación en comercialización de tecnología en la University of Texas at Austin y trayectoria en ingeniería química, desarrollo tecnológico, transferencia de tecnología, innovación y modelación de procesos; el segundo experto se desempeña actualmente como Director de Investigaciones en la Universidad Católica de Pereira, con amplia experiencia como docente investigador desde 2006; y la tercera especialista fue Directora de Investigaciones e Innovación en la misma universidad entre 2018 y 2022, además de asesora de proyectos de emprendimiento e innovación para la Universidad Tecnológica de Pereira, y actualmente candidata a doctora en Transformación Digital e Innovación en la Universidad de Ottawa, Canadá.)

El instrumento de validación (ver anexo 7), incluyó 11 afirmaciones que describen los componentes y reglas de comportamiento del modelo, incluyendo los agentes, atributos, interacciones, mecanismos de cofinanciación y resultados esperados, valoradas mediante una escala de Likert con

calificación de 1 a 5 el grado de validez de la afirmación (siendo 1 muy bajo y 5 muy alto). El objetivo fue identificar el nivel de aceptación de los expertos sobre la representación del modelo frente a las condiciones reales en el proceso de TT en las universidades.

La tabulación de las encuestas mostró un 100% de respuestas afirmativas, con un promedio global de ponderación de 4,42 puntos en la escala de Likert. Este resultado indica un alto nivel de consenso entre los expertos respecto a la validez del modelo.

**Tabla 31**

*Tabulación de la encuesta de validación del modelo*

Ítem	Aspecto evaluado	Promedio (1–5)
1	Representación de los tres agentes (Universidad –Empresa– Proyectos)	4.3
2	Validez de los atributos riqueza, TRL y número de proyectos	4.7
3	Influencia territorial y proximidad geográfica	4.0
4	Interés empresarial de proyectos con TRL $\geq$ 4	4.7
5	Co-inversión Universidad-Empresa y retornos desde TRL $\geq$ 7	3.7
6	Ciclo de vida tecnológico de los proyectos (15 años)	4.0
7	Convocatorias internas como mecanismo de financiación	5.0
8	Costos de búsqueda y posibles retiros de empresas	4.7
9	Éxito de proyectos con TRL intermedio-alto y colaboración efectiva	4.7
10	Capacidad predictiva del modelo para escenarios y políticas	4.0
11	Utilidad del modelo para la toma de decisiones en TT universitaria	4.3
<b>Promedio general: 4.42</b>		

La tabla 31, muestra una alta concordancia (superior a 4.5) en las afirmaciones 2, 4, 7, 8 y 9, las cuales se relacionan con la estructura de agentes, los mecanismos de cooperación y las condiciones de éxito del proceso de TT, de igual forma se muestra una moderada valoración en 3, 5, 6 y 10, estas afirmaciones están relacionadas con condiciones de zonas de influencia (territorio), retornos de inversión

y obsolescencia tecnológica de los proyectos. La variabilidad mínima entre los expertos (desviación estándar  $< 0,5$ ), indica una estabilidad en las percepciones.

El resultado global de 4.42 sobre 5 muestra que el modelo se encuentra en un nivel de aceptación alto, lo que respalda su credibilidad y adecuación para representar el fenómeno de estudio.

En cuanto a las observaciones realizadas por los expertos en la encuesta resaltan, la relevancia que en la actualidad tienen las convocatorias internas como motor de continuidad de los proyectos en las universidades, mencionando que estos se vuelven determinantes para sostener la maduración tecnológica más allá de las fuentes externas de financiación, otro de los expertos resalto que el modelo reproduce de forma coherente la dinámica de cooperación universidad-empresa cuanto la TRL supera niveles intermedios, destacando la representación de los incentivos de colaboración, la última experta menciona que *“Con relación a la pregunta 6, si considero que el ciclo es finito, pero considero que el tiempo de obsolescencia varía dependiendo de la tecnología y tiende hacer más corto con el avance científico y tecnológico”*. Estas apreciaciones complementan la evidencia cuantitativa, mostrando que el modelo no solo es percibido como coherente y realista, sino también como una herramienta analítica útil para la toma de decisiones en políticas en TT.

El análisis de expertos permitió confirmar que el modelo representa de manera adecuada aspectos relevantes de las dinámicas de relación universidad-empresa en el marco de sus procesos de TT universitaria, considerándose entonces su validez dentro de su dominio de aplicación y confiabilidad para su uso en la experimentación y análisis de escenarios orientados a fortalecer las políticas y estrategias de TT en las universidades.

#### **4.2.5 Desarrollo de los experimentos**

Este apartado presenta los experimentos diseñados para analizar el efecto de variables de entrada definidas en el modelo (número de proyectos, riqueza institucional y TRL Umbral) sobre el desempeño de los procesos de TT en las universidades. Cada experimento representa un escenario distinto que permitió observar el impacto en cuanto simetría, heterogeneidad y capacidades de las universidades, así como las condiciones que al margen afectan los resultados. Esta aproximación experimental permitió evaluar el modelo bajo condiciones comparables y controladas, facilitando la identificación de patrones de comportamiento entre los agentes y la calibración de los parámetros críticos del modelo.

En la tabla 32 se muestran las características generales de cada uno de los experimentos realizados. En ambos experimentos se realizaron 10 repeticiones por combinación experimental y los

escenarios utilizaron un mínimo de 100 ticks de simulación y una misma variable de salida “count proyectos with [trl >= 7]” (número de proyectos con TRL igual o superior a 7).

**Tabla 32**

*Resumen de la estructura de los experimentos*

Experimentos	Escenarios	Descripción	Variables de entrada (Código)	Ejecuciones
1	Una sola universidad - Línea Base	Conocer el comportamiento de una sola universidad, con las tres variables de entrada, analizando los valores (bajo, intermedio y alto) de la calibración	["numero-proyectos- universidad-1" 1 90 183] ["riqueza-universidad- 1" 11 350 698] ["trl-umbral" 3 5 7]	270
2	Dos universidades - Completo	Conocer el comportamiento del modelo con dos universidades con valores calibrados para las variables de entrada (bajo, medio y alto)	["numero-proyectos- universidad-1" 1 90 183] ["numero-proyectos- universidad-0" 1 90 183] ["riqueza-universidad- 0" 11 350 698] ["riqueza-universidad- 1" 11 350 698] ["trl-umbral" 3 5 7]	2430

No fue necesario realizar más experimentos dado que el experimento dos fue lo suficientemente robusto que permitió explorar los diferentes parámetros y escenarios en cada una de las variables de entrada.

**4.2.5.1 Experimento 1: Una sola universidad – Línea base.** Este experimento evaluó el comportamiento del modelo considerando una sola universidad y las tres variables de entrada: número de proyectos (bajo = 1, medio = 90, alto = 183), riqueza institucional (bajo = 11, medio = 350, alto = 698) y

TRL umbral (bajo = 3, medio = 5, alto = 7). La variable de salida fue el número de proyectos que alcanzaron un TRL igual o superior a 7. Con el fin de analizar de manera integral el comportamiento de los agentes a partir de los parámetros definidos para las variables de entradas se utilizó el análisis factorial ANOVA y la sensibilidad de Morris para la influencia de las variables.

**4.2.5.1.1 Análisis factorial ANOVA.** Para evaluar el efecto conjunto e individual de las variables de entrada; número de proyectos, la riqueza y el TRL umbral sobre el desempeño del proceso de TT, evaluado a partir de la generación de proyectos con TRL igual o superior a 7, se realizó un análisis de varianza ANOVA factorial por 3x3x3. (Tabla 33).

Los resultados estadísticos obtenidos revelan diferencias significativas respecto al número de proyectos iniciales ( $F = 10497.64$ ,  $p < 0.001$ ). Este hallazgo indica que la cantidad inicial de proyectos con los cuales cuenta una universidad ejerce una influencia sustancial sobre el desempeño exitoso del proceso de TT, validando la relevancia de disponer de un portafolio amplio de proyectos como factor clave para maximizar los resultados en términos de madurez tecnológica alcanzada.

Por otro lado, los efectos principales de la riqueza institucional ( $F = 0.10$ ,  $p = 0.906$ ) y del TRL umbral ( $F = 0.08$ ,  $p = 0.927$ ) resultaron no significativos. Esto sugiere que, de forma aislada, estos factores no explican una variabilidad significativa en el desempeño del proceso de TT. La riqueza en las universidades no mostró evidencia suficiente para afirmar su impacto directo, así como tampoco lo hizo el TRR umbral.

Al analizar las interacciones de segundo orden entre los factores, se evidenció que tampoco hubo efectos estadísticamente significativos. Las interacciones entre el número de proyectos y la riqueza ( $F = 0.41$ ,  $p = 0.798$ ), número de proyectos y TRL umbral ( $F = 0.41$ ,  $p = 0.802$ ), así como riqueza institucional y TRL umbral ( $F = 0.80$ ,  $p > 0.5$ ), muestran que los efectos combinados de estas variables por pares no modifican sustancialmente el desempeño observado.

Sin embargo, es importante destacar que la interacción de tercer orden (número de proyectos  $\times$  riqueza institucional  $\times$  TRL umbral) mostró significancia estadística ( $F = 2.59$ ,  $p = 0.008$ ). Este resultado demuestra que, aunque individualmente ni la riqueza ni el TRL umbral mostraron efectos significativos, la combinación simultánea de las tres variables genera un impacto distintivo en el desempeño del proceso de TT. Esto sugiere que ciertas combinaciones específicas de estos tres factores pueden optimizar o dificultar el desempeño de la TT en las universidades.

**Tabla 33***Resultados ANOVA factorial – Experimento 1*

	sum_sq	df	F	p-valor
C(num_proy)	675467996.4786727	2.0	10497.63	0.0
C(riqueza)	6339.13806917638	2.0	0.1	0.906
C(trl_umbral)	4898.38644324256	2.0	0.08	0.927
C(num_proy):C(riqueza)	53400.988337954055	4.0	0.41	0.798
C(num_proy):C(trl_umbral)	52706.4282087559	4.0	0.41	0.802
C(riqueza):C(trl_umbral)	103095.63269297696	4.0	0.80	0.524
C(num_proy):C(riqueza):C(trl_umbral)	667107.1866867167	8.0	2.59	0.0078
Residual	8694362692.595705	270243.0		

Nota. Elaboración propia a partir del uso del software R.

**4.2.5.1.2 Análisis de sensibilidad global (Morris).** El análisis de sensibilidad de Morris permitió evidenciar que el variable determinante en el desempeño de la TT universitaria para el primer experimento fue el número de proyectos disponibles en el portafolio de cada institución. Este resultado está sustentado en la preponderancia del valor de  $\mu^*$  para la variable *num\_proy* lo cual sugiere que el incremento en la cantidad de proyectos genera un impacto directo en el número de tecnologías que alcanzan niveles altos de TRL ( $TRL \geq 7$ ). Por el contrario, las variables riqueza y TRL umbral presentaron efectos marginales o nulos, lo que indica que, dentro del rango analizado, no influyen de manera significativa en el resultado del modelo (Tabla 34 y Figura 21).

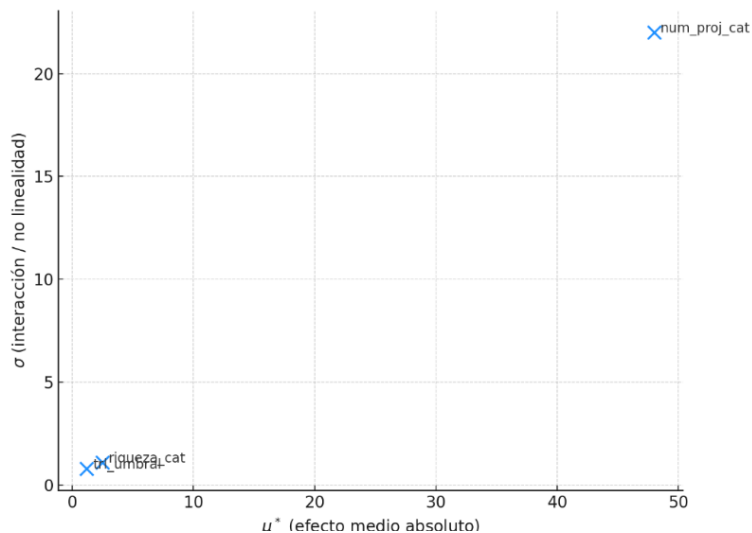
**Tabla 34***Índices de Morris – Experimento 1*

Variable	$\mu^*$ (efecto medio absoluto)	$\sigma$ (interacción / no linealidad)
trl_umbral	1.2	0.8
riqueza_cat	2.5	1.1
num_proj_cat	48.0	22.0

Nota. Elaboración propia a partir del análisis de sensibilidad global utilizando el método de Morris, con 40 ejecuciones utilizando el software R. Las variables fueron categorizadas en tres niveles (bajo, medio y alto) mediante terciles.

**Figura 21**

Diagrama de dispersión del análisis de sensibilidad de Morris para el experimento 1



Nota. Elaboración propia a partir del uso del software R.

**4.2.5.1.3 Conclusión del experimento 1.** Los resultados integrados del análisis ANOVA y la sensibilidad a través del método de Morris permiten concluir que ambos enfoques coinciden en señalar al número de proyectos como la variable con mayor peso relativo en el modelo (ANOVA:  $F = 10497.63$ ,  $p < 0.001$ ) y un valor de impacto absoluto sobresaliente en el análisis de Morris ( $\mu^* = 48.0$ ). Este resultado indica que, en la dinámica simulada, el volumen de proyectos gestionados por las universidades constituye un factor que impulsa la probabilidad de avanzar hacia mayores niveles de madurez tecnológica ( $TRL \geq 7$ ).

En contraste, tanto la riqueza de las universidades, como el TRL umbral muestran efectos marginales o no significativos en ambos análisis, lo que sugiere que estas variables, al menos dentro del rango analizado, no ejercen un papel preponderante por sí solas. No obstante, la interacción triple entre ellas sí mostró significancia estadística ( $F = 2.59$ ,  $p = 0.008$ ), lo cual evidencia la posibilidad de que ciertas configuraciones específicas de estas tres variables puedan optimizar los procesos de TT. Este hallazgo destaca la necesidad de adoptar un enfoque integral y sistémico en la planificación estratégica de los procesos de TT en las universidades, buscando de esta forma potencializar las capacidades de las universidades, reconociendo que el desempeño en la TT no solo depende de un factor aislado, sino de la sinergia y una correcta combinación de diferentes variables en el proceso.

**4.2.5.2 Experimento 2: Dos universidades – Completo.** Este experimento tuvo por objetivo analizar el desempeño de la TT bajo diferentes parámetros para dos universidades, teniendo en cuenta un

rango de valores definidos previamente en la calibración del modelo a partir de los datos recolectados (rango bajo, medio y alto) y considerando específicamente el comportamiento de la variable de salida (TRL  $\geq 7$ ), frente a los cambios en las variables de entrada seleccionadas (número de proyectos, el TRL umbral y la riqueza institucional). Para esto se realizaron 10 repeticiones por combinación experimental en NetLogo®, estableciendo un criterio de finalización del modelo en un mínimo de 100 ticks lo que resultó en 2430 ejecuciones en el modelo.

**4.2.5.2.1 Análisis factorial ANOVA.** Los resultados del ANOVA factorial para el experimento 2, indicaron que el número de proyectos ejerce un efecto altamente significativo sobre el desempeño del modelo ( $F = 271.85$ ,  $p < 0.001$ ), ratificando la hipótesis de que un mayor número de proyectos en el portafolio de las universidades incrementa de manera sustancial las probabilidades de alcanzar una madurez tecnológica más elevada. Este hallazgo refuerza los resultados observados en el experimento 1 y confirma la importancia de esta variable como un elemento estructural y determinante en el proceso de TT (Tabla 35).

En contraste, los efectos principales de la riqueza institucional ( $F = 0.39$ ,  $p = 0.676$ ) y del TRL umbral ( $F = 1.10$ ,  $p = 0.334$ ) no resultaron significativos desde el punto de vista estadístico. Esta ausencia de significancia sugiere que, en las condiciones presentadas en el experimento para las dos universidades, ni la riqueza como factor económico ni los cambios ni exigencias en una TRL umbral por si solos modifican sustancialmente el número de proyectos que pueden alcanzar una TRL más avanzada, por lo tanto, tener la posibilidad de lograr una transferencia exitosa debido al desarrollo de la tecnología vinculada al proyecto. De igual forma, las interacciones de segundo orden entre las variables “número de proyectos” y “TRL umbral” ( $F = 0.51$ ,  $p = 0.729$ ) y entre riqueza y TRL umbral ( $F = 0.45$ ,  $p = 0.770$ ) tampoco evidenciaron efectos significativos.

No obstante, los resultados muestran una interacción significativa entre el número de proyectos y la riqueza institucional ( $F = 2.51$ ,  $p = 0.040$ ), lo cual indica que la influencia en cuanto al volumen de proyectos sobre el desempeño de la TT puede verse condicionado por el nivel de recursos económicos invertidos por la universidad en el proceso. En este caso esta interacción sugiere que los efectos del portafolio de proyectos son más pronunciados cuando la universidad posee ciertas capacidades financieras que facilitan la maduración de las tecnologías. Finalmente, la interacción de tercer orden (número de proyectos  $\times$  riqueza  $\times$  TRL umbral) no alcanzó significancia estadística ( $F = 0.89$ ,  $p = 0.528$ ), lo cual indica que la combinación simultánea de las tres variables no genera efectos adicionales más allá de los capturados por sus componentes de segundo orden.

**Tabla 35***Resultados ANOVA factorial – Experimento 2*

Factor	Suma de cuadrados	df	F	p-valor
Número de proyectos (num_proy_cat)	20,142,360	2	271.85	< 0.001
Riqueza institucional (riqueza_cat)	29,043	2	0.39	0.676
TRL umbral (trl_umbral_cat)	81,229	2	1.10	0.334
Num. proyectos × Riqueza	371,460	4	2.51	0.040*
Num. proyectos × TRL umbral	75,459	4	0.51	0.729
Riqueza × TRL umbral	67,391	4	0.45	0.770
Num. proyectos × Riqueza × TRL umbral (3ra orden)	262,475	8	0.89	0.528
Residual	369,473,200	9973	—	—

Nota. Elaboración propia a partir del uso del software R, empleando una muestra aleatoria representativa de 10,000 observaciones del experimento completo de NetLogo®.

**4.2.5.2.2 Análisis de sensibilidad global (Morris).** Los resultados obtenidos en el análisis de sensibilidad de Morris para el experimento dos, muestran que el TRL umbral fue el factor más relevante del modelo, con un valor de  $\mu^* = 417.60$ , seguido por el número de proyectos ( $\mu^* = 325.65$ ) y la riqueza institucional ( $\mu^* = 252.75$ ). Este hallazgo marca una diferencia respecto al análisis de sensibilidad del experimento 1, en que el número de proyectos era el factor dominante. En este caso, la exigencia en cuanto al umbral de la TRL óptima para realizar la TT marca la preponderancia en el desempeño positivo del proceso para lograr un mayor número de proyectos con TRL igual o superior a 7, por lo tanto, esta variable se posiciona como la que más incide en el resultado, lo que sugiere una mayor sensibilidad frente al modelo.

En cuanto a la interacción y no linealidad ( $\sigma$ ), las tres variables muestran valores elevados, con el TRL encabezando la lista ( $\sigma = 534.08$ ). Esto muestra que los efectos de las variables no son independientes, sino que interactúan significativamente entre sí y que el impacto de cada una de ellas puede variar según las combinaciones que se realicen (Tabla 36, Figura 22).

Tabla 36

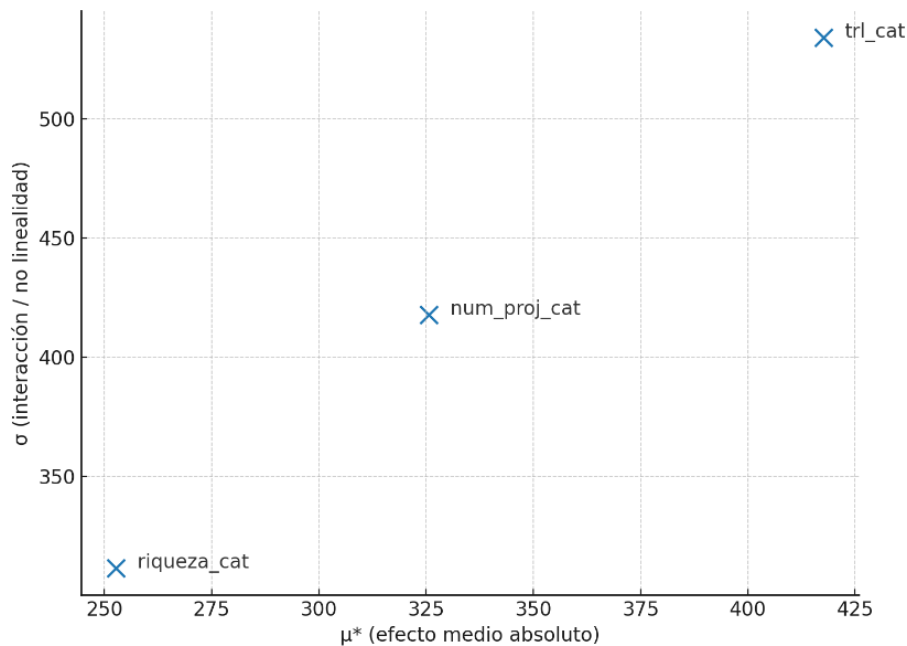
Índices de Morris – Experimento 2

Variable	$\mu^*$ (efecto medio absoluto)	$\sigma$ (interacción / no linealidad)
trl_cat	417.60	534.08
num_proj_cat	325.65	417.80
riqueza_cat	252.75	311.45

Nota. Elaboración propia a partir del análisis de sensibilidad global utilizando el método de Morris, con 40 ejecuciones utilizando el software R. Las variables fueron categorizadas en tres niveles (bajo, medio y alto) mediante terciles.

Figura 22

Diagrama de dispersión del análisis de sensibilidad de Morris



Nota. Elaboración propia a partir del uso del software R.

**4.2.5.2.3 Conclusión del experimento 2.** Los resultados del ANOVA factorial (3x3x3) muestran que la variable más destacada es el número de proyectos como el único factor con efecto estadísticamente significativo ( $F = 271.85$ ;  $p < 0.001$ ) sobre la variable de salida (número de proyectos con  $TRL \geq 7$ ), reforzando su importancia dentro de los procesos de TT. Por su parte la riqueza institucional y el TRL umbral, evaluados de forma aislada, no mostraron efectos significativos, sin embargo, la interacción entre

el número de proyectos y la riqueza resulto ser relevante ( $F = 2.51$ ;  $p = 0.040$ ), evidenciando que la influencia del volumen de proyectos depende, en parte, de la disponibilidad de recursos institucionales.

De manera complementaria el análisis de Morris reveló una dinámica más compleja, en este caso el TRL umbral fue el factor con mayor impacto global sobre la salida del modelo ( $\mu^* = 417.60$ ), seguido por el número de proyectos ( $\mu^* = 325.65$ ) y la riqueza ( $\mu^* = 252.75$ ). Esta jerarquía de las variables sugiere que, aunque el TRL no tuvo un efecto estadísticamente significativo en el ANOVA, su capacidad de modular el sistema emerge con relevancia al considerar interacciones y efectos no lineales. La alta varianza de los efectos ( $\sigma$ ) en las tres variables indica una presencia significativa de relaciones complejas entre estas, no identificadas completamente por el modelo factorial.

**4.2.5.3 Conclusión integradora de los experimentos 1 y 2.** La experimentación desarrollada en los escenarios 1 y 2 permite evidenciar aspectos relevantes sobre los determinantes claves en el desempeño de la TT en las universidades, a través del uso combinado del análisis de varianza (ANOVA) y el análisis de sensibilidad global de Morris. Ambos enfoques permitieron definir no solo la influencia directa de las variables críticas como el número de proyectos, TRL umbral y riqueza, sino también analizar las interacciones de orden superior y los comportamientos no lineales que enriquecieron la comprensión del modelo.

En los dos escenarios experimentales, el número de proyectos se mostró de forma constante como la variable más influyente sobre la capacidad de las universidades de generar productos tecnológicos con TRL igual o superior a 7. Este hallazgo fue validado tanto por el ANOVA factorial con niveles de significancia  $p < 0.001$  en ambos casos) como por el método de Morris ( $\mu^* = 48.0$  en el Experimento 1 y  $\mu^* = 325.65$  en el Experimento 2). Esto sugiere que las capacidades de las universidades, entendidas como el volumen de proyectos tecnológicos gestionados, constituye el eje estructural del desempeño en la TT.

En contraste, ni la riqueza ni el TRL umbral mostraron efectos significativos de forma aislada en el ANOVA. No obstante, el análisis de Morris reveló un resultado importante, en el experimento 2, donde el TRL umbral se posicionó como el factor más determinante ( $\mu^* = 417.60$ ), seguido por el número de proyectos. Esto indica que, en escenarios simétricos, la exigencia del nivel de madurez tecnológica lidera el desempeño de la TT en el modelo. La diferencia de la jerarquía entre los métodos estadísticos no representa una contradicción, sino una complementariedad analítica, el ANOVA captura efectos promedio bajo supuestos lineales, mientras que la sensibilidad de Morris identifica interacciones latentes y efectos entre las variables.

Asimismo, la interacción significativa entre el número de proyectos y la riqueza institucional en el segundo experimento ( $F = 2.51$ ,  $p = 0.040$ ) evidencia que la capacidad de inversión no actúa como elementos directo del éxito en el desempeño, pero si potencia el impacto en cuanto al portafolio de proyectos tecnológicos. Disponer entonces de recursos económicos suficientes no garantiza por sí mismo resultados exitosos en el proceso e TT, pero si puede ayudar en el desempeño. Estos hallazgos fuerzan la hipótesis de que existe un umbral mínimo de recursos económicos en las organizaciones, por debajo del cual incluso un número elevado de proyectos no lograría traducirse en resultados con niveles altos de madurez tecnológica. Esta relación se ha demostrado en estudios como el de Kuma et al. (2002), quienes demostraron empíricamente que la capacidad de absorción, orientada a un buen uso de recursos institucionales modera el impacto de los mecanismos de TT sobre el desempeño técnico y económico, validando la importancia de contar con condiciones estructurales mínimas en cuanto a inversión para lograr una mejor TT.

Este resultado plantea la hipótesis de que existe un umbral mínimo de recursos financiero por debajo del cual, incluso un número representativo de proyectos podría no traduce en un mejor desempeño en cuanto a resultados de tecnologías con TRL elevados.

Finalmente, la interacción de tercer orden identificada en el experimento 1 (número de proyectos  $\times$  riqueza  $\times$  TRL umbral;  $F = 2.59$ ,  $p = 0.008$ ) sugiere que ciertas combinaciones y configuraciones entre las capacidades de las universidades en términos de número de proyectos, TRL y riqueza pueden generar condiciones óptimas o inversamente limitantes en el éxito del desempeño de la TT. Estas combinaciones no son detectables a partir de análisis aislados, por lo cual es necesario establecer una visión integral y sistémica.

En este marco, los resultados de la experimentación también pueden interpretarse a la luz de las modalidades propuestas por Davis et al. (2007b). La variación de valores se implementó al modificar sistemáticamente las tres variables de entrada (riqueza, número de proyectos y TRL umbral), cuyos efectos se evidenciaron en los experimentos mediante ANOVA y el análisis de sensibilidad de Morris. En consecuencia, los hallazgos de ambos experimentos ofrecieron insumos para la formulación de políticas y estrategias orientadas a fortalecer la TT universitaria.

### **4.3 Definición de políticas y estrategias**

Este apartado pretende definir una estructura de políticas y estrategias orientadas a fortalecer los procesos de TT en las universidades, en coherencia con los hallazgos encontrados en los capítulos 4.1 y

4.2. La integración de los análisis estadísticos descriptivos y multivariados con los resultados de la simulación basada en agentes permitió identificar factores comunes y complementarios que fundamentan la formulación de las propuestas. Esto insumos muestran la necesidad de intervenir tres aspectos claves para el fortalecimiento de la TT, el primero es la capacidad institucional de las universidades, seguido del número y madurez de los proyectos tecnológicos y la definición de umbrales de TRL óptimos para la TT y por último la capacidad de una integración efectiva entre de las universidades con las empresas. Por lo tanto y con el fin de proponer políticas y estrategias acordes con los resultados de la investigación y que sean coherentes con el foco de la TT en las universidades, es importante resaltar los hallazgos encontrados en el capítulo 4.1 en cual mostró que si bien la riqueza institucional no es directamente significativa en términos estadísticos, su interacción con el número de proyectos y la TRL umbral (interacción de tercer orden con  $F=2.59$ ,  $p=0.008$ ) demuestra que actúa como un factor de amplificación del desempeño en la TT. Asimismo, el capítulo 4.2 evidenció a través del análisis de sensibilidad de Morris que la TRL umbral es la variable más influyente en escenarios simétricos ( $\mu^* = 417.60$ ), superando incluso el número de proyectos.

Para la construcción de las políticas la MBA no solo permitió identificar tendencias en relación con los agentes involucrados en la simulación, sino también logró probar configuraciones alternativas a través de la experimentación, aspectos que permitieron sustentar las decisiones desde las relaciones causales observables y reproducibles de los agentes, tal como lo recomienda Axelrod y Cohen (2000) al destacar el potencial del panorama político para formular recomendaciones relevantes en sistemas adaptativos complejos.

Por otra parte, Banks (2002) argumenta que la MBA en la formulación de políticas tiene la capacidad de explorar las consecuencias en diferentes diseños institucionales bajo condiciones de incertidumbre. Asimismo, Edmonds y Moss (2005) señalan que la MBA es útil en contextos donde los sistemas complejos no pueden ser representados adecuadamente mediante modelos excesivamente simplificados (enfoque KISS: Keep It Simple, Stupid). En su lugar, proponen el uso de enfoques iterativos y sensibles al contexto, como el enfoque KIDS (Keep It Descriptive, Stupid) que permite capturar mejor la complejidad inherente de dichos sistemas. En el caso específico de esta investigación el modelo computacional definido si bien no trata de ser complejo, involucra características de relación entre los agentes y condiciones del contexto que permitieron identificar condiciones óptimas para la construcción de políticas asertivas y coherentes y estrategias adecuadas para su operacionalización.

A continuación, se describen las políticas y las estrategias asociadas, articuladas desde la evidencia empírica que entrega la investigación y los referentes teóricos.

#### **4.3.1 Política de fortalecimiento de capacidades institucionales**

Como lo evidencia el análisis del capítulo 4.1, las universidades con mayores niveles de riqueza institucional presentan mejores condiciones en cuanto al desempeño de la TT, especialmente cuando estas capacidades están articuladas a estructuras organizativas claras y mecanismos de gestión estratégica adecuados. En el caso de Antioquia, esta relación es evidente gracias a su ecosistema de innovación fortalecido y por la presencia de plataformas colaborativas como Tecnova, Comité Universidad Empresa Estados, Ruta N, entre otras (Ruta N Medellín, s.f; Corporación Tecnova, s.f; Universidad de Antioquia, 20017).

**4.3.1.1 Estrategias asociadas.** Consolidación de las áreas de TT a través de la implementación de modelos que permitan la vinculación de talento humano calificado, recursos financieros adecuados y capacidades tecnológicas profesionales que permitan ejercer una función adecuada en la gestión del conocimiento, apoyada en plataformas de vigilancia estrategia e inteligencia competitiva (Bozeman et al., 2015).

Formación de talento humano especializado: desarrollara programas institucionales de formación en PI, valoración y comercialización de tecnologías, gestión de la innovación, emprendimiento en alianzas con instituciones como el SENA, Minciencias, Innpulsa, Ministerio de Comercio Industria y Turismos y otras universidades.

Reformas institucionales que permitan incorporar la TT como un elemento importante en la estructura misional de las universidades, incluyendo indicadores de TT en los planes estratégicos de desarrollo y mecanismos de evaluación interna (Garcá & MetCalfe, 2005).

Estas acciones permitirán que las universidades actúen como agentes estratégicos en el sector empresarial, superando las limitaciones identificadas en regiones como Risaralda y potencializado las fortalezas evidenciadas en Antioquia, en ambos casos las condiciones de los entornos pueden jugar de manera positiva en el fortalecimiento de las capacidades en las universidades mejorando de esta manera el desempeño de la TT a las empresas.

#### **4.3.2 Política de incentivos a la colaboración temprana**

En los escenarios de simulación del capítulo 4.2, se identificó que la participación del sector productivo en las fases tempranas de los proyectos (TRL 1 a 3) aumenta la probabilidad de madurez tecnológica exitosa de los proyectos y por ende un proceso eficiente de TT. Esto coincide con los principios

del enfoque de la triple hélice que promueve la sinergia entre las universidades, empresas y gobierno. La evidencia empírica sugiere que los proyectos colaborativos en etapas tempranas son más proclives a traducirse en innovaciones comercializables cuando existe una articulación estructurada entre los actores de la triple hélice especialmente en contextos regionales con capacidades institucionales dispares (Ranga & Etzkowitz, 2013).

**4.3.2.1 Estrategias asociadas.** Creación de fondos de cofinanciación para pruebas de concepto y validación temprana: promover mecanismos de financiación compartida entre las universidades y empresas y entes territoriales para reducir el riesgo tecnológico y estimular la madurez de proyectos incipientes (Vermeulen & Pyka, 2016).

Aprovechar incentivos tributarios para apoyar empresas aliadas, establecer mecanismos de cooperación para gestionar de manera conjunta con las empresas aliadas deducciones tributarias que incentiven la inversión en I+D+i, como lo establece el Decreto 2867 de 2022 en Colombia (CONPES 4069, 2022).

Fortalecer esta política puede reducir la distancia crítica entre la investigación básica en fases preliminares y el desarrollo tecnológico en fase de aplicación industrial, especialmente en regiones donde los vínculos universidad-empresas no son fuertes.

#### ***4.3.3 Política de articulación interinstitucional***

Los contrastes evidenciados en los territorios objeto de estudio a partir del análisis descriptivo y multivariado mostraron que una gobernanza regional sólida es determinante en el desempeño de la TT en las universidades. Mientras que Antioquia cuenta con estructuras colaborativas más avanzadas y consolidadas como el Comité Universidad Empresas Estado, en Risaralda estas dinámicas son incipientes. Esto se muestra en la MBA en donde la interacción entre las universidades y empresas a través de los proyectos tecnológicos es más eficiente en el área de influencia directa de las universidades, por su cercanía lo que representa una mayor dinámica de las universidades en la simulación frente a las empresas.

**4.3.3.1 Estrategias asociadas.** Creación de espacios de concertación y trabajo conjunto con entre las universidades y las empresas: establecer mecanismos regionales para monitorear el desempeño en la

TT, la creación y evolución de portafolios de proyectos tecnológicos y la vinculación activa con actores del ecosistema.

Estructurar agrupaciones interuniversitarias para la gestión conjunta de la TT: replicar modelos colaborativos exitosos como el G8+ en otras regiones del país, que faciliten la integración de capacidades y la proyección internacional (Yepes, 2022).

El Fortalecimiento de esquemas de articulación puede favorecer la gestión del conocimiento en las regiones, a su vez que aprovechan capacidades que pueden ser compartidas en términos de infraestructura tecnológica con el objetivo de mejorar la innovación y competitividad del entorno cercano a las universidades.

#### **4.3.4 Política de gestión integral de la propiedad intelectual (PI)**

La falta de capacidades para gestionar la PI puede convertirse en una barrera en los procesos de TT, dado que Colombia presenta una baja tasa de patentamiento en comparación con otros países. Según datos de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual para el año 2023, Colombia registro 424 solicitudes de patentes, lo que representa una disminución del 67.2% con referencia al año 2022 lo que ubica al país en la posición 65 a nivel mundial en cuanto a solicitudes de patentes (OMPI, 2023). Además, las solicitudes de patentes por millón de habitantes fueron de 5.1, situando al país en el puesto 81 en este indicador. Estas cifras reflejan la limitada capacidad que tiene el país para proteger y por ende comercializar los resultados de investigación, lo cual restringe las posibilidades de una TT efectiva. En este sentido se requiere una política que transforme la PI en un activo estratégico, fortaleciendo de esta manera las capacidades de las universidades para su gestión, valoración y comercialización.

**4.3.4.1 Estrategias asociadas.** Creación de unidades de apoyo a la PI: definir instancias en las universidades que se articulen con centros regionales de apoyo a la PI, para lograr una mejor y más eficiente protección, licenciamiento y valoración tecnológica, apoyados en instancias como al Superintendencia de Industria y Comercio y Minciencias. Entendiendo que según los datos recolectados existe una limitación en cuanto a capacidades en talento humano en las universidades encargado de la gestión de la PI, lo cual debilidad el desempeño de la TT.

Establecer esquemas de beneficios: implementar modelos de incentivos en cuanto a regales para los investigadores que participen en procesos de TT, siguiendo estándares de buenas prácticas internacionales (AUTM, 2022).

La integración de estas estrategias permitirá promover una cultura institucional que vea la PI no solo como un mecanismo de protección legal, sino como una herramienta de valorización tecnologías y de conexión para la comercialización eficiente de las tecnologías desarrolladas por las universidades.

#### **4.3.5 Política de financiación sostenible para la TT**

Como se mostró en el capítulo 4.2, las simulaciones evidencian que la combinación de una adecuada asignación de recursos (riqueza) con adecuados niveles de TRL y diversidad en el número de proyectos maximiza el desempeño de la TT. Sin embargo, las universidades con menor riqueza requieren apoyos adicionales para la gestión adecuada de su TT.

**4.3.5.1 Estrategias asociadas.** Definición de mecanismos de asignación diferenciada de recursos por desempeño y potencial de desarrollo a los proyectos: vincular indicadores y criterios como el nivel de TRL, impacto esperado en el mercado, potencial de comercialización, posibilidad de alianzas tempranas con empresas y capacidad institucional de absorción (Ayer & Link, 2023).

Programas de asignación de recursos a portafolios de proyectos emergentes: establecer líneas de financiación específicas para universidades con alta producción científica, pero limitada capacidad de valoración y comercialización tecnológica, como lo propone el SNCTI (CONPES 4069, 2022).

Estas medidas permitirán fortalecer la relación universidad-empresa a través de la TT en las universidades, evitando que las limitaciones presupuestales condicionen de manera estructural el potencial de comercialización de los proyectos tecnológicos, como se evidencio en los experimentos comparativos en condiciones en donde las universidades con bajos niveles de riqueza no tenían una eficiencia adecuada en la generación de proyectos transferibles.

#### **4.3.6 Política de cultura institucional para la TT**

El capítulo 4.1 evidencio que la falta de incentivos académicos y culturales hacia la TT limita la participación activa de los investigadores. Este deMBAlance debe mejorarse con la implementación de políticas que reconozcan la TT como dimensión legítima e importante que quehacer académico.

**4.3.6.1 Estrategias asociadas.** Integración de la TT en el escalafón docente y en la evaluación institucional: incluir indicadores de TT (número de licencias, patentes, spin off, entre otros) en los procesos de promoción y acreditación, buscando motivar a los investigadores a producir más y mejores tecnologías

transferible, sin que esto se convierta en un aspecto de presión o limitación en la carrera académica de los investigadores.

Programas de incentivos académicos y reconocimientos: definir mecanismos que permitan bonificar la producción académica transferible, al igual que lograr una descarga adecuada de los investigadores en cuanto a sus actividades docentes y administrativas, esto para docentes con buen desempeño.

Estas estrategias permitirán movilizar de manera activa el capital humano en las universidades, buscando mayor participación en los procesos de TT, aspectos que fueron señalados en el capítulo 4.1 como una condición clave para el cierre de brechas en cuanto a la generación de proyectos tecnológicos.

#### ***4.3.7 Conclusiones del capítulo de generación de políticas y estrategias***

La formulación de políticas y estrategias para el fortalecimiento de los procesos de TT de las universidades se fundamenta en una estructura integral, que consideró las capacidades institucionales, como la madurez tecnológica de los proyectos y la articulación con las empresas. De esta manera los resultados presentados en los capítulos 4.1 y 4.2 muestran que las universidades con mejores estructuras de planificación, inversión y gestión de proyectos tecnológicos presentan un mejor desempeño en sus procesos de TT, sin embargo, es importante reconocer el esfuerzo de regiones que buscan fortalecer sus procesos a pesar de las limitaciones en cuanto al desarrollo de su entorno directo.

Frente a la creación de políticas, algunos estudios respaldan la importancia de crear estrategias diferenciadas y adaptativas en el ambiente de la TT. Por ejemplo, Contreras (2021) destaca que la implementación de políticas de TT debe considerar las particularidades institucionales y regionales para ser efectivas. Asimismo, el modelo de la triple hélice propuesto por Etzkowitz y Deydesdorff (2000) subraya la necesidad de una interacción dinámica entre la universidad, la industria y el gobierno para fomentar la innovación y el desarrollo económico de las regiones. En este contexto, la experiencia de universidades en Estados Unidos, donde la legislación y las medidas gubernamentales han impulsado la TT, ofrece un marco importante para el diseño de políticas y estrategias en las universidades colombianas (Zhou, 2017).

En conclusión, las políticas y estrategias propuestas buscan responder a las necesidades y particularidades identificadas en los resultados de la investigación, buscan de esta manera promover un ecosistema de innovación, más eficiente y equitativo. La implementación adecuada de medidas permitirá seguir fortaleciendo los procesos de TT en las universidades y su impacto en las regiones a través de una adecuada comercialización y absorción por parte del sector empresarial.

#### 4.4 Discusión

La investigación tuvo como objetivo principal analizar los procesos de TT en las universidades alrededor y su relación con las empresas. Para esto se realizó una revisión sistemática de los enfoques teóricos más relevantes, lo que permitió establecer bases conceptuales y metodológicas para comprender los modelos de TT y su interacción con el sector empresarial. Dicha revisión posibilitó la identificación de marcos referenciales que sustentaron tanto la perspectiva institucional como las condiciones contextuales que inciden en el desempeño de la TT.

El marco teórico y el estado del arte evidenciaron el papel central de modelos como la triple hélice de Etzkowitz y Leydesdorff (1997), que propone una interacción sinérgica entre la universidad, la empresa y el gobierno. Desde esta perspectiva, la TT se concibe entonces como un proceso de movilización del conocimiento, técnicas y capacidades entre actores diversos, con el propósito de generar innovación, valor y competitividad (Abramson et al., 1997; Bozeman, 2000). Las formas que adopta este proceso pueden ser comercial o social, adaptándose de esta manera a diversos enfoques disciplinarios y tecnológicos (Zhao & Reisman, 1992). Entre los factores que inciden en el desempeño de la TT se destacan condiciones como la proximidad cultural y geográfica de los agentes, la capacidad de absorción del receptor y la calidad de los canales de comunicación utilizados (Gibson & Smilor, 1991; Dinmohammadi & Shafiee, 2017).

En cuanto al ámbito organizacional, se analizaron diferentes modelos de TT que permitieron comprender mejor el funcionamiento de los procesos. Se destacan enfoques lineales como el modelo genérico de Siegel et al. (2004), los modelos interactivos como el de Sung y Gibson (Dubickis & Gaile, 2015) y modelos centrados en el aprendizaje organizacional como los de Argyris y Schön (1997) y Nevis et al. (2000). Igualmente, se identificaron sistémicos como el de la triple hélice (Etzkowitz & Leydesdorff, 1997) y el triángulo de Sábato (1970), que asignan distintos roles a los actores del sistema de innovación, ya sea el estado, la empresa o la universidad como agente líder en el proceso.

Otras investigaciones han contextualizado modelos de TT en entornos Latinoaméricos, este es caso de Patiño y Hidalgo (2011), que propusieron un modelo que incorpora perfiles organizacionales, tecnológicos y de transferencia, identificando barreras estructurales propias del sistema de innovación mexicano. Por otra parte, Necochea et al., (2013) complementaron esta visión con un modelo de redes, destacando la interacción entre el proveedor de tecnología, el receptor y su entorno directo. Vargas et al., (2021) sistematizaron elementos críticos para la comercialización de tecnologías, mientras que Heinzl et al., (2013) destacaron la importancia del entorno político e institucional para la TT en las universidades.

Estos enfoques permitieron entender que los modelos de TT pueden y deben adaptarse a las condiciones de su entorno de innovación para mejorar el desempeño de sus procesos.

Por otro lado, Henríquez (2009) y De Fuentes y Dutrénit (2016) enfatizaron en sus estudios sobre la relevancia de la cercanía geográfica y las capacidades de absorción tecnológica para lograr interacciones universidad-empresa más efectivas. Por su parte Arza y López (2011) destacaron que las redes colaborativas, más que las capacidades individuales, son determinantes en el éxito de la TT, subrayando la necesidad de fortalecer los vínculos institucionales entre actores. Estos hallazgos coinciden con los resultados encontrados en el marco de esta investigación, en donde las universidades resaltan la importancia de colaborar con los actores y también se enlazan con los resultados del análisis estadístico y la MBA que muestran la importancia de lograr alianzas tempranas entre las universidades y las empresas para lograr un mejor y más rápido desarrollo de las tecnologías y por ende un mejor desempeño en la TT.

A pesar del avance teórico sobre la TT, algunos estudios identifican limitaciones metodológicas importantes con relación a estos procesos. Lekashvili y Bitsadze (2021) señalan que algunos carecen de herramientas que permitan simular escenarios dinámicos de interacción entre actores, lo que dificulta la toma de decisiones informadas sobre políticas de TT. De igual forma, Sun et al. (2019) advierte que la ausencia de enfoques como la simulación impide analizar adecuadamente la complejidad inherente a los sistemas de innovación y sus dinámicas de transferencia.

Autores como Davey et al., (2011) y Bradley et al., (2013) también han mencionado la importancia de establecer marcos institucionales más claros para la formulación de políticas en TT. Sin embargo, dichos estudios también reconocen como una de sus limitaciones el enfoque preponderantemente descriptivo y la ausencia de herramientas de simulación que permitan modelar las dinámicas interinstitucionales y evaluar posibles escenarios estratégicos. Esta debilidad impide una mejor comprensión sobre el desempeño de las políticas propuestas y limita su replicabilidad en contexto diversos.

De igual forma, trabajos como el de Oliveira et al., (2020), centrado en universidades de Brasil, identifican barreras estructurales y culturales que dificultan la institucionalización de la TT como una función universitaria importante. No obstante, el estudio no cuenta con un desarrollo experimental a partir de procesos de simulación que permitan anticipar las consecuencias de implementar ciertas estrategias o rediseñar la arquitectura de gestión tecnológica de las instituciones. Esta limitación metodológica resalta la necesidad de utilizar modelos que permitan integrar enfoques de simulación para la toma de decisiones estrategias en las universidades.

Desde una perspectiva empírica, los hallazgos de esta investigación complementan y profundizan los debates alrededor de políticas puntuales para el fortalecimiento del desempeño en la TT en las

universidades a partir del entendimiento y la generación de alianzas con las empresas. La caracterización de las áreas u oficinas de TT en las universidades de Antioquia y Risaralda permitió identificar un panorama heterogéneo en cuanto a capacidades técnicas, de formación del talento humano, estructura de incentivos y condiciones en cuanto a la TRL de los proyectos y el relacionamiento directo con las empresas. Si bien se identificaron equipos de trabajo con experiencia y conocimiento en gestión de la innovación y comercialización tecnológica, persisten vacíos importantes en PI, la cual es frecuentemente delegada a equipos u oficinas externas, por otra parte, la mayoría de las universidades cuanto con capacidades limitadas en cuanto a grupos de investigación, infraestructura tecnológica y capacidad de alianzas estratégicas lo que limita la eficiencia de la TT. Este patrón coincide con los señalado por Molares et al. (2018) quienes identifican la falta de indicadores claros de desempeño y la débil articulación con el sector industrial como un desafío estructural común en muchas instituciones que realizan TT.

Maresova et al., (2019) mencionan que no existen modelos únicos de oficinas de TT y que su eficacia depende de una adecuada profesionalización de sus procesos, incluyendo un equilibrio entre las funciones de PI, licenciamiento y comercialización. Asimismo, Garnica y Torkomian (2009), subrayan que, en el contexto latinoamericano, además del conocimiento técnico, es fundamental contar con políticas institucionales claras, incentivos adecuados y una cultura organizacional orientada a la innovación.

Adicionalmente, el análisis de incentivos realizado a las universidades objeto de estudio, mostraron que, aunque existen mecanismos como regalías, descargas académicas y reconocimientos en el escalafón docentes en algunas universidades, su efectividad varía. Investigaciones realizadas por Abbas et al. (2023) y Hayter y Link (2023), advierten que la ausencia de incentivos financieros y no financiero adecuados limita la participación de los investigadores en procesos de TT. Por su parte Tshikovhi et al. (2020) afirma que los sistemas de incentivos deben estar alineados con la carrera académica y contemplar el desarrollo de spin-off y la participación en regalías para asegurar su sostenibilidad.

En cuanto a la inversión, la heterogeneidad también es significativa. Algunas universidades invierten más de 500 millones de pesos colombianos al año, mientras otras apenas superan los 10 millones, sin que esto garantice una percepción de suficiencia en ambos casos. Sin embargo es necesario resaltar no necesariamente se encontró evidencia en los resultados de la simulación que demuestren un mejor desempeño en aquellas universidades que tienen un mayor nivel de inversión, si fue relevante el número de proyectos tecnológicos en el portafolio y su TRL para una eficiente TT, sin embargo los análisis estadísticos de los experimentos mostraron que si bien por separado la inversión no es un factor tan relevante, cuando esta se combina de manera eficiente con otras variables se mejora el desempeño de la TT en las universidades, lo que resalta la importancia de diseñar estrategias particulares por institución

según sus capacidades y su relacionamiento con su entorno. De esta forma los bajos u altos niveles de inversión, sin un acompañamiento de estrategias claras, no permiten una TT exitosa, especialmente en fases avanzadas de TRL donde la articulación con el sector empresarial es fundamental.

Los hallazgos empíricos también destacaron que el desempeño de la TT mejora cuando las universidades logran establecer redes colaborativas sólidas y estratégicas con empresas en las primeras fases del desarrollo tecnológico y también con la generación de alianzas con el sector empresarial. Esta vinculación en fase tempranas permite un mayor nivel de madurez tecnológica de los proyectos y un mayor grado de potencialidad en el proceso de TT exitoso.

De esta manera desde un enfoque metodológico, esta investigación permitió demostrar que la simulación basada en agentes es una herramienta importante para explorar las relaciones complejas de los agentes en contexto regionales, superando las limitaciones de enfoques tradicionales, meramente descriptivos. Teóricamente define un marco conceptual integrador que incorpora dimensiones sociales y organizaciones que en algunos estudios sobre la TT universitaria han sido excluidos. De esta manera la investigación confirma la hipótesis planteada de que las dinámicas de relación inciden significativamente en el desempeño de los procesos de la TT y en la definición de políticas y estrategias para su fortalecimiento. validando de esta manera el planteamiento inicial del estudio.

Finalmente, la investigación aporta elementos claves que permitieron la estructuración de políticas y estrategias para las universidades, subrayando la importancia de una perspectiva holística, integradora y dinámicas de relación de mediano y largo plazo entre los agentes. Más allá del enfoque tradicional, se propone entonces una visión relacional y sistémica de la TT universitaria, donde factores como la capacidad de generación de proyectos, manejo eficiente en el desarrollo de la TRL y la inversión juegan un papel importante en términos de las capacidades de las universidades, al igual que las condiciones en cuanto a la creación de alianzas estructuradas y solidas con las empresas.

## 5. Capítulo 5. Conclusiones, Contribuciones, Limitaciones e Investigaciones Futuras

### 5.1 Conclusiones

La investigación permitió analizar los procesos de TT de las universidades objeto de estudio en el marco de sus relaciones con las empresas, esto a través de una combinación metodológica que integró un análisis estadístico descriptivo y multivariado, un modelo conceptual y computacional por medio de la modelación basada en agentes utilizando el software Netlogo® y la estructuración de políticas y estrategias para el fortalecimiento de los procesos en las universidades.

En relación con el primer objetivo el cual estaba orientado a caracterizar las condiciones que configuran la relación entre las universidades y las empresas en el marco de sus procesos de TT, se identificó que existe una fuerte correlación entre el número de grupos de investigación y las capacidades en términos del volumen de proyectos tecnológicos en el portafolios de las instituciones, la inversión en investigación y la madurez tecnológica de los proyectos. Las universidades entonces con mayores capacidades en términos de su estructura organizacional y recursos para la generación de proyectos tecnológicos tienden a presentar mejor desempeño en términos de proyectos alcanzados con TRL igual o superior a 7, condición que permite una mayor potencialidad de transferencia tecnológica al sector empresarial. Asimismo, se observó que la existencia de mecanismos internos que fortalezcan el talento humano especializado, la gestión de la innovación, la PI y la estructuración de políticas y estrategias de vinculación temprana con el sector empresarial inciden de manera positiva en el desempeño del proceso de TT. No obstante, se muestran diferencias relevantes entre las capacidades de las universidades estudiadas, especialmente en cuanto al grado de articulación con las empresas, inversión, número de proyectos tecnológicos y madurez de las capacidades institucionales para el desarrollo eficiente de las tecnologías y para la comercialización de estas.

Con respecto al segundo objetivo, el cual está relacionado con el desarrollo de un modelo de simulación basado en agentes (MBA), se construyó un modelo conceptual acorde a las realidades operativas de las universidades que permitió la construcción de modelo computacional de agentes en NetLogo® donde interactuaran universidades, empresas y proyectos con unas reglas preestablecidas producto de los datos recolectados y el modelo conceptual. Esta herramienta permitió entonces representar con un nivel alto de granularidad la interacción de variables claves tales como riqueza institucional (inversión), número de proyectos en curso y nivel de alistamiento tecnológico (TRL Umbral) para la TT de proyectos. Los resultados del análisis de sensibilidad en los experimentos mostraron que

entre las variables de entrada al modelo más importantes fueron el TRL Umbral y el número de proyectos tecnológicos en el portafolio de las universidades. Estas variables influyen de manera directa en el desempeño de la TT. De igual forma se identificó que la correcta combinación en TRL umbral, número de proyectos y riqueza genera impactos positivos en la eficiencia de los procesos. Sin embargo, la riqueza por sí sola no garantiza resultados favorables si no está acompañada de condiciones complementarias, tales como factores óptimos para el relacionamiento empresarial y capacidades de absorción tecnológica adecuadas. Este resultado muestra la necesidad de considerar interacciones no lineales y contextualmente sensibles en el diseño de estrategias de fortalecimiento del desempeño de la TT en las universidades.

En cuanto al tercer objetivo, el cual está centrado en la formulación de políticas y estrategias, los resultados del análisis descriptivo y multivariados y los hallazgos de la MBA permitieron definir a partir de las condiciones heterogéneas y propias de las universidades en sus contextos regionales, políticas generales que pueden ser aplicadas a todas las instituciones a partir de sus propias capacidades y condiciones de contexto dado que están direccionadas a mejorar el desempeño de la TT en el marco de su relación con las empresas y que fueron creadas a partir de la identificación de patrones de comportamiento observados en el modelo computacional. De esta forma se alinean con los principios de gobernanza adaptativa de cada una de las instituciones. Se destaca entonces que la efectividad de las políticas depende de su articulación con las estrategias regionales, de la participación de los actores involucrados y del establecimiento de indicadores de seguimiento ajustados al desempeño específico de cada institución.

Finalmente, se establece que el desempeño de la TT en las universidades no puede explicarse de manera aislada a partir de factores individuales, sino que obedece a la interacción compleja entre las capacidades y condiciones internas (estrategia y planificación, recursos financieros, equipos de trabajo, incentivos, articulación con la demanda y aprendizaje organizacional) y a variables relevantes de entrada al modelo (riqueza, número de proyectos y TRL umbral). De esta manera la modelación basada en agentes ofreció una perspectiva relevante en el estudio de la complejidad de la TT universitaria y en la definición de políticas y estrategias ajustables a la relación de estas con el sector empresarial. En este sentido, la investigación contribuye a la comprensión de las dinámicas de TT en las universidades desde un enfoque sistémico y permitió proponer escenarios analizados en el desarrollo de los experimentos, de forma particular se destacan tres escenarios: 1, escenarios de alta capacidad de las universidades con un número elevado de proyectos, que muestran mayor probabilidad de alcanzar TRL avanzados y lograr transferencias efectivas; 2. escenarios de colaboración temprana universidad–empresa, donde el TRL umbral juega un papel decisivo al orientar la maduración y la efectividad de la transferencia; y 3. escenarios de limitación

de recursos, en los cuales la riqueza institucional no resulta determinante por sí sola, pero amplifica el desempeño cuando interactúa con proyectos estratégicamente planificados y gestionados.

Desde esta perspectiva, la modelación basada en agentes permitió comprender la complejidad de la dinámica de relación de las universidades y las empresas a través de los procesos de TT universitaria y de esta manera poder proponer políticas y estrategias ajustadas a las condiciones de las universidades, aportando un marco práctico para la toma de decisiones orientadas a fortalecer los procesos de TT universitaria.

## 5.2 Contribuciones

Los hallazgos presentados en la investigación aportan a la comprensión de los procesos de TT en las universidades en el marco de su relación con el sector empresarial. Las tres dimensiones principales en relación con los aportes del estudio se centran en los aspectos de orden metodológicos, empírico y teórico.

En primer lugar, en cuanto a los aspectos metodológicos, el estudio demuestra la utilidad de la simulación basada en agentes (MBA), como herramienta para explorar dinámicas complejas de interacción entre las universidades y las empresas, a través de los proyectos tecnológicos. A diferencia de enfoques predominantemente descriptivos, la MBA permitió representar relaciones no lineales, efectos acumulativos y procesos de retroalimentación, integrando variables de entrada al modelo como riqueza institucional, número de proyectos y nivel de madurez tecnológica (TRL umbral). Estas variables de entrada, tratadas en la literatura de manera fragmentada o estática, se operacionalizaron en la investigación como mecanismos dinámicos, sujetos a experimentación y sensibilidad, con lo cual se amplía la capacidad de análisis en escenarios de decisión de política y estrategias en las universidades.

En este sentido, la investigación aporta a la literatura científica sobre TT universitaria al incorporar un enfoque multifactorial y dinámico que permite entender el fenómeno más allá de los marcos descriptivos tradicionales. Este aporte resulta relevante en el contexto colombiano, donde los estudios sobre TT han sido limitados en su aproximación cuantitativa y en el uso de metodologías de simulación. El uso de la MBA contribuye a disminuir esta brecha de conocimiento, proporcionando una herramienta metodológica que facilita el análisis de las interacciones entre actores y la evaluación de escenarios de política y tecnológica.

En segundo lugar, en aspectos empíricos, los diferentes factores del análisis estadístico (ANOVA factorial y Morris) y su articulación con los datos recolectados en universidades de Antioquia y Risaralda, permitieron identificar que los procesos de TT en las universidades no dependen exclusivamente de un

factor aislado, sino de la interacción entre diferentes factores institucionales, madurez tecnológica de los proyectos y condiciones de vinculación empresarial, dando entonces un enfoque a la TT como un proceso multifactorial. De otra parte, la investigación aporta evidencia cuantitativa en el contexto latinoamericano, donde estudios previos han privilegiado enfoques cualitativos o diagnósticos estructurales (Patiño & Hidalgo, 2011; Necochea-Mondragón et al., 2013; Vargas et al., 2021), lo cual refuerza la aplicabilidad de los hallazgos en la formulación de políticas y estrategias diferenciales para las universidades con capacidades heterogéneas.

En tercer lugar, desde una perspectiva teórica, la investigación complementa los modelos de TT universitarios reportados en la literatura y que fueron base de este estudio. El modelo austriaco, que enfatiza las condiciones institucionales y de gobernanza de las oficinas de TT (Heinzl et al., 2013), subraya el peso de la arquitectura organizacional y las políticas públicas en los resultados de la transferencia. En cuanto los modelos desarrollados en México aportan miradas complementarias: Patiño & Hidalgo (2011) identifican dimensiones organizacionales, tecnológicas y de transferencia que explican cuellos de botella institucionales, mientras que Necochea-Mondragón et al. (2013) representan la TT como una red proveedor, receptor, entorno, enfatizando la relevancia de las interacciones y rutinas de vinculación.

La presente investigación se diferencia de estos tres enfoques en tres aspectos, en la incorporación de un marco dinámico que convierte en variables de entrada controlables la riqueza institucional, el número de proyectos y el TRL umbral, generando de esta manera reglas de relación y decisión que pueden ser testeadas, el segundo aspecto es que integra técnicas de validación y análisis de sensibilidad que permiten capturar efectos de interacción y no linealidades, superando la visión estática de los modelos referidos, en tercer aspecto es que conecta directamente los resultados de la simulación con propuestas de políticas y estrategias concretas, tales como el diseño de convocatorias internas diferenciadas, definición de umbrales estratégicos de TRL y la asignación adaptativa de recursos financieros. En este sentido, la investigación aporta lineamientos conceptuales a la literatura sobre la TT en las universidades para la toma de decisiones y construcción de políticas y estrategias que mejoren su desempeño.

Finalmente, la originalidad de las contribuciones radica en vincular tres niveles de análisis (Teórico-conceptual, empírico y experimental) en un mismo marco metodológico. Esta integración permitió no solo identificar factores críticos de los procesos de TT en las universidades, sino también explorar cómo estos factores interactúan bajo condiciones variables, generando escenarios diferenciados que permitan tener evidencia para fortalecer la comprensión de la complejidad de la TT en las universidades.

De manera complementaria, la tesis contribuye al entendimiento del fenómeno de TT desde una perspectiva sistémica y compleja, demostrando que la MBA constituye una herramienta metodológica

importante para representar la naturaleza no lineal y emergente de los procesos de transferencia. Esta aproximación permite integrar dimensiones institucionales, tecnológicas y relacionales en un mismo marco analítico, ofreciendo una visión holística del sistema de TT y fortaleciendo el debate académico sobre su comprensión en el contexto latinoamericano.

### 5.3 Limitaciones de la investigación

Si bien los resultados obtenidos permiten avanzar en la comprensión del desempeño de los procesos de TT en las universidades y su relación con el sector empresarial, es importante reconocer también algunos limitantes en el desarrollo del estudio. En primer lugar y con el propósito de mantener la coherencia, claridad y simplicidad del modelo, se excluyó de la investigación la evaluación directa del nivel de aprendizaje como variable cuantitativa. Esto se debe a que, si bien las universidades lo identifican como un factor importante en los procesos de TT, las universidades no disponían de datos confiables ni de mecanismos estandarizados que permitieran medir y calibrar esta variable en el modelo de simulación. Por esta razón el aprendizaje fue representado de manera aproximada mediante valores enteros aleatorios, lo cual permitió mantener su presencia como dinámica de referencia, pero sin capturar la complejidad de los procesos de generación y acumulación de conocimiento en los actores involucrados. Este aspecto representa una oportunidad de mejora en futuros estudios que puedan contar con indicadores validados de aprendizaje en la TT.

En segundo lugar, los retornos económicos derivados de las tecnologías transferidas fueron representados mediante parámetros aproximados, dado que las universidades participantes no disponían de registros desagregados ni consistentes de regalías por proyectos. Esta situación impidió la construcción de indicadores más estructurados y aproximados a la realidad en cuanto a los retornos financieros, afectando entonces la posibilidad de analizar con una mayor precisión la eficiencia financiera de los procesos de TT. Este aspecto puede ser objeto de investigaciones futuras que puedan explorar escenarios simulados que cuenten con datos relacionados las regalías entregadas por los proyectos en la medida en que las universidades construyan bases de datos estructuradas y confiables sobre esta condición.

Finalmente, el modelo no contempla una clasificación por aéreas tecnológicas o sectores económicos, lo cual restringe el análisis de especificidades disciplinares y niveles de desarrollo por áreas tecnológicas. En consecuencia, las dinámicas de TT se simularon a partir de los datos entregados por las universidades y las condiciones estructurales generales y no diferenciadas por campo de aplicación, lo cual representa una oportunidad de mejora del modelo en un futuro.

#### 5.4 Propuesta de investigaciones futuras

A partir de los resultados obtenidos en la investigación y considerando las limitaciones previamente analizadas, se proponen diversas líneas de investigación que puedan fortalecer los aportes realizados. Se sugiere entonces la incorporación de métricas cuantitativas y cualitativas más precisas en cuanto al nivel de aprendizaje generado por los procesos de TT, esto puede lograrse a través de una investigación particular con universidades tipo para construir los parámetros y definir instrumentos de recolección de datos que los alimenten. Esto permitirá evaluar con mayor claridad la contribución de generación de conocimiento al desarrollo de capacidades internas en las universidades y empresas participantes de procesos de TT.

Otra de las propuestas en torno a futuros estudios puede estar orientados a identificar con mayor nivel de precisión los retornos económicos logrados por las universidades alrededor de los procesos de TT, desagregados por tipos de tecnologías, proyectos o áreas disciplinares, esto apoyado en bases de datos detalladas sobre ingresos, licencias otorgadas y contratos de explotación de tecnologías. Esto posibilitaría una evaluación más precisa del valor económico obtenido en términos de la eficiencia de la TT en diferentes contextos institucionales.

Otro enfoque de investigación futuro implica ampliar el modelo a través de la incorporación de variables del contexto como políticas públicas regionales, nuevos agentes externos, mecanismos de financiamiento tipo convocatorias externas, todo esto con el fin de evaluar el efecto de factores adicionales del contexto sobre el comportamiento de la efectividad en la TT de las universidades.

Adicionalmente, futuras investigaciones podrían orientarse a contrastar los resultados obtenidos en esta investigación con modelos internacionales de TT, particularmente en aquellos desarrollos en Europa, Asia o Norte América, lugares en donde las políticas de innovación y los mecanismos de relación universidad empresas, están más desarrollados. De igual forma, se pueden incorporar en futuros proyectos nuevos agentes en el proceso de simulación, esto con el propósito de analizar cómo su inclusión modifica las dinámicas de interacción y los resultados de los procesos de TT en las universidades.

Como último enfoque para futuras investigaciones se recomienda adaptar el modelo a otros sectores fuera del académico y a otras regiones del país o el mundo, para explorar la replicabilidad del enfoque propuesto y validar resultados en diversos contextos, lo cual contribuiría a fortalecer la formulación de políticas públicas orientadas al desarrollo de las regiones basadas en ciencia, tecnología e innovación.

## 6. Referencias

- Abbas, A., Albats, E., & Lopes, J. (2023). The impact of university funding and incentives on technology transfer performance: A systematic review and research agenda. *Industry and Higher Education*, 23(1), 4–18. <https://doi.org/10.21300/23.1.2023.4>
- Abramson, H. N., Encarnacao, J., Reid, P. P., & Schmoch, U. (1997). *Technology Transfer Systems in the United States and Germany: Lessons and Perspectives*. National Academies Press.
- Alemán, G. del C. (2005). *Dos modelos diferenciados de configuración institucional bajo el impacto de la evaluación externa: La UAM-A y la UIA*. ANUIES.
- Altbach, P. G. (2002). Knowledge and education as international commodities: The collapse of the common good. *International Higher Education*, 28\*, 2–5.
- An, G., Mi, Q., Dutta-Moscato, J., & Vodovotz, Y. (2009). Agent-Based Modeling in Translational Systems Biology. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Systems Biology and Medicine*, 1(2), 159–171. <https://doi.org/10.1002/wsbm.45>
- Argyris, C. (1976). Single-Loop and Double-Loop Models in Research on Decision Making. *Administrative Science Quarterly*, 21(3), 363–375. <https://doi.org/10.2307/2391848>
- Argyris, Ch., & Schön, D. A. (1997). Organizational Learning: A Theory of Action Perspective. *Reis*, 77/78, 345–348. <https://doi.org/10.2307/40183951>
- Aribi, A., & Dupouët, O. (2015). Absorptive capacity: A conceptual framework. *International Review of Management and Marketing*, 5(2), 29–37. <https://doi.org/10.11113/intrest.v15ns1.116>
- Arocena, R., Göransson, B., & Sutz, J. (2015). Knowledge policies and universities in developing countries: Inclusive development and the “developmental university”. *Technology in Society*, 41, 10–20. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2014.10.004>

- Arocena, R., & Sutz, J. (2005). Latin American Universities: From an Original Revolution to an Uncertain Transition. *Higher Education*, 50(4), 573–592. <https://doi.org/10.1007/s10734-004-6367-8>
- Arza, V., & López, A. (2011). Firms' linkages with public research organisations in Argentina: Drivers, perceptions and behaviours. *Technovation*, 31(8), 384–400. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2011.04.004>
- Association of University Technology Managers (AUTM). (2023). AUTM Licensing Activity Survey: FY2022. AUTM. <https://autm.net/surveys-and-tools/surveys/licensing-survey/2023-licensing-survey>
- Audretsch, D. B., Hülsbeck, M., & Lehmann, E. E. (2012). Regional competitiveness, university spillovers, and entrepreneurial activity. *Small Business Economics*, 39(3), 587–601. <https://doi.org/10.1007/s11187-011-9332-9>
- Azoulay, P., Zissimopoulos, J., & Sampat, B. N. (2011). Incentives and academic patenting: Evidence from US universities. *Management Science*, 57(10), 1818–1834. <https://doi.org/10.1287/mnsc.1110.1447>
- Axelrod, R. (1997). *The complexity of cooperation: Agent-based models of competition and collaboration*. Princeton University Press. <https://doi.org/10.1515/9781400822300>
- Backs, S., Günther, M., & Stummer, C. (2019). Stimulating academic patenting in a university ecosystem: An agent-based simulation approach. *The Journal of Technology Transfer*, 44, 434–461.
- Balconi, M., Brusoni, S., & Orsenigo, L. (2010). In defence of the linear model: An essay. *Research Policy*, 39(1), 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2009.09.013>
- Banks, J., Carson, J. S., Nelson, B. L., & Nicol, D. M. (2010). *Discrete-event system simulation* (5th ed.). Pearson Education. <https://doi.org/10.5555/1895630>
- Baker, A. (2016). *Simplicity*. In E. N. Zalta (Ed.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Spring 2016 ed.). Stanford University. <https://plato.stanford.edu/entries/simplicity>
- Beath, J., Owen, R. F., Poyago-Theotoky, J., & Ulph, D. (2003). Optimal incentives for income-generation in universities: The rule of thumb for the Compton tax. *International Journal of Industrial Organization*, 21(9), 1301–1322. [https://doi.org/10.1016/S0167-7187\(03\)00084-5](https://doi.org/10.1016/S0167-7187(03)00084-5)

- Beretta, E., Fontana, M., Guerzoni, M., & Jordan, A. (2018). Cultural dissimilarity: Boon or bane for technology diffusion? *Technological Forecasting and Social Change*, 133, 95–103.
- Bernasconi, A. (2008). Is There a Latin American Model of the University? *Comparative Education Review*, 52(1), 27–52. <https://doi.org/10.1086/524305>
- Bernheim, C. T. (1998). La reforma universitaria de Córdoba. *Revista Educación Superior y Sociedad (ESS)*, 9(1), Article 1.
- Blatman, G., & Sudret, B. (2010). Efficient computation of global sensitivity indices using sparse polynomial chaos expansions. *Reliability Engineering & System Safety*, 95(11), 1216–1229. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2010.06.003>
- Borshchev, A., & Filippov, A. (2004a). *From System Dynamics and Discrete Event to Practical Agent Based Modeling: Reasons, Techniques, Tools*.
- Borshchev, A., & Filippov, A. (2004b). From system dynamics and discrete event to practical agent based modeling: Reasons, techniques, tools. *Proceedings of the 22nd international conference of the system dynamics society*, 22, 25–29.
- Bozeman, B. (2000). Technology transfer and public policy: A review of research and theory. *Research Policy*, 29(4), 627–655. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(99\)00093-1](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(99)00093-1)
- Bozeman, B., Rimes, H., & Youtie, J. (2015). The evolving state-of-the-art in technology transfer research: Revisiting the contingent effectiveness model. *Research Policy*, 44(1), 34-49. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2014.06.008>
- Brunner, J. J. (1990). Educación superior, investigación científica y transformaciones culturales en América Latina. *BID-SECAB-CINDA (Ed.), Vinculación universidad sector productivo*, 11–106.
- Buitrago, S., Duque, P. L., & Robledo, S. (2020). Branding Corporativo: Una revisión bibliográfica. *ECONÓMICAS CUC*, 41(1), Article 1. <https://doi.org/10.17981/econcuc.41.1.2020.Org.1>

- Burnham, K. P., & Anderson, D. R. (2002). *Model selection and multimodel inference: A practical information-theoretic approach* (2nd ed.). Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/b97636>
- Cai, Y., & Etzkowitz, H. (2020). Theorizing the Triple Helix model: Past, present, and future. *Triple Helix*, 7(2–3), 189–226. <https://doi.org/10.1163/21971927-bja10003>
- Callejas, E. R. Y. (2022). El Valle de la Muerte: una perspectiva sistémica (Doctoral dissertation, Universidad Pontificia Bolivariana).
- Carnell, R. (2012). lhs: Latin Hypercube Samples. R package version 0.10. <https://CRAN.R-project.org/package=lhs>
- Clark, B. R. (1986). *The Higher Education System: Academic Organization in Cross-National Perspective*. University of California Press.
- Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2018). *Designing and Conducting Mixed Methods Research*. SAGE Publications.
- Cozzens, S. E., Healey, P., Rip, A., & Ziman, J. (2012). *The Research System in Transition*. Springer Science & Business Media.
- Davis, J. P., Eisenhardt, K. M., & Bingham, C. B. (2007). Developing theory through simulation methods. *Academy of management review*, 32(2), 480–499. <https://doi.org/10.5465/amr.2007.24349575>
- David, P. A., Hall, B. H., & Toole, A. A. (2000). Is public R&D a complement or substitute for private R&D? A review of the econometric evidence. *Research Policy*, 29(4–5), 497–529. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(00\)00030-7](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(00)00030-7)
- De Araujo, F. O., Tavares Dalcol, P. R., & Pirró e Longo, W. (2011). A Diagnosis of Brazilian Shipbuilding Industry on the Basis of Methodology for an Analysis of Sectorial Systems of Innovation. *Journal of technology management & innovation*, 6(4), 151–171. <https://doi.org/10.4067/S0718-27242011000400012>
- De Fuentes, C., & Dutrénit, G. (2016). Geographic proximity and university–industry interaction: The case of Mexico. *The Journal of Technology Transfer*, 41, 329–348.

Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (Colciencias) (2015). Política nacional de ciencia, tecnología e innovación. Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación.

Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2022). Índice Departamental de Innovación para Colombia (IDIC) 2022: Resumen Ejecutivo. [https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Desarrollo%20Empresarial/IDIC/Resumen%20ejecutivo\\_IDIC%2022.pdf](https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Desarrollo%20Empresarial/IDIC/Resumen%20ejecutivo_IDIC%2022.pdf)

D'Este, P., & Patel, P. (2007). University–industry linkages in the UK: What are the factors underlying the variety of interactions with industry? *Research Policy*, 36(9), 1295–1313. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2007.05.002>

Dinmohammadi, A., & Shafiee, M. (2017). Determination of the Most Suitable Technology Transfer Strategy for Wind Turbines Using an Integrated AHP-TOPSIS Decision Model. *Energies*, 10(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/en10050642>

Di Stefano, G., Gambardella, A., & Verona, G. (2012). Technology push and demand pull perspectives in innovation studies: Current findings and future research directions. *Research Policy*, 41(8), 1283-1295. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2012.03.021>

Donneys González, F., & Blanco Campins, B. (2016). La transferencia de tecnología en universidades colombianas. *Economía y Desarrollo*, 157(2), 182–198.

Dubickis, M., & Gaile-Sarkane, E. (2015). Perspectives on Innovation and Technology Transfer. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 213, 965–970. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.11.512>

Edquist, C., & Hommen, L. (1999). Systems of innovation: Theory and policy for the demand side<sup>1</sup>This article is based on work from the project “Innovation Systems and European Integration (ISE)”, funded by Targeted Socio-Economic Research, DG XII, European Commission, Contract No. SOE1-CT95-1004 (DG 12-SOLS). In particular, the article draws upon work originally produced as part of ISE subproject 3.2.2, “Public

Technology Procurement as an Innovation Policy Instrument".1. *Technology in Society*, 21(1), 63–79.

[https://doi.org/10.1016/S0160-791X\(98\)00037-2](https://doi.org/10.1016/S0160-791X(98)00037-2)

Elsenbroich, C., Gilbert, N., Elsenbroich, C., & Gilbert, N. (2014). *Modelling norms*. Springer.

Epstein, J. M. (2008). Why model? *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 11(4), 12.

<https://doi.org/10.18564/jasss.143>

Etzkowitz, H., & Leydesdorff, L. (1997). Introduction to special issue on science policy dimensions of the Triple

Helix of university-industry-government relations. *Science and Public Policy*, 24(1), 2–5.

<https://doi.org/10.1093/spp/24.1.2>

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)

Etzkowitz, H., Webster, A., Gebhardt, C., & Terra, B. R. C. (2000). The future of the university and the university

of the future: Evolution of ivory tower to entrepreneurial paradigm. *Research Policy*, 29(2), 313–330.

[https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(99\)00069-4](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(99)00069-4)

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)

Etzkowitz, H., & Leydesdorff, L. (2002). Universities and the global knowledge economy: A triple helix of

university-industry-government relations.

Etzkowitz, H. (2003). Research groups as ‘quasi-firms’: The invention of the entrepreneurial university. *Research*

*Policy*, 32(1), 109–121. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(02\)00009-4](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(02)00009-4)

Everett M., R. (2002). *The Nature of Technology Transfer*.

<https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/107554700202300307>

- Feria Patiño, V. H. (2009). *Propuesta de un modelo de transferencia de conocimiento científico-tecnológico para México*.
- Feria Patiño, V., & Hidalgo Nuchera, A. (2011). Towards a Transfer Model of Scientific and Technological Knowledge: The Case of Mexico. *Proceedings of 20th International Conference for the International Association for Management of Technology, IAMOT 2011 | 20th International Conference for the International Association for Management of Technology, IAMOT 2011 | 10/04/2011 - 14/04/2011 | Miami, EEUU*, 120–139. <http://www.iamot2011.org/>
- Field, A. (2018). *Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics* (5th ed.). SAGE Publications.
- Florêncio, H. L., & Oliveira Junior, M. M. (2022). A bibliometric analysis of absorptive capacity in technology transfer. *International Journal of Innovation and Technology Management*, 19(2), 2250001. <https://doi.org/10.1142/S136391962230001X>
- Forrester, J. W. (1961). *Industrial dynamics*. MIT Press. <https://doi.org/10.1002/smj.4250020106>
- Forrester, J. W. (1997). *Industrial dynamics*. *Journal of the Operational Research Society*, 48(10), 1037–1041.
- García-Granero, A., Fernández-Mesa, A., Jansen, J. J. P., & Vega-Jurado, J. (2019). Top management team diversity and ambidexterity: The contingent role of shared responsibility and CEO cognitive trust. *Long Range Planning*, 52(6), 101907. <https://doi.org/10.1016/j.lrp.2019.101907>
- Garnica, L. A., & Torkomian, A. L. V. (2009). A atividade de comercialização de tecnologia nas universidades públicas paulistas: Avanços e desafios. *Gestão & Produção*, 16(4), 624-638. <https://doi.org/10.1590/S0104-530X2009000400011>
- Gibbons, M., Limoges, C., Nowotny, H., Schwartzman, S., Scott, P., & Trow, M. (1994). *The new production of knowledge: The dynamics of science and research in contemporary societies*. Sage Publications.
- Gibson, D. V., & Smilor, R. W. (1991). Key variables in technology transfer: A field-study based empirical analysis. *Journal of Engineering and Technology Management*, 8(3), 287–312. [https://doi.org/10.1016/0923-4748\(91\)90015-J](https://doi.org/10.1016/0923-4748(91)90015-J)

- Gilbert, N. (1999). Simulation: A New Way of Doing Social Science. *American Behavioral Scientist*, 42(10), 1485–1487. <https://doi.org/10.1177/0002764299042010002>
- Gilbert, N., & Terna, P. (2000). How to build and use agent-based models in social science. *Mind & Society*, 1(1), 57–72. <https://doi.org/10.1007/BF02512229>
- Gilbert, N., & Troitzsch, K. G. (2005). *Simulation for the social scientist* (2nd ed.). Open University Press. <https://doi.org/10.4324/9781315248115>
- Gilbert, N. (2008). Agent-based models (Vol. 153). SAGE Publications. <https://doi.org/10.4135/9781412983259>
- Gilbert, G. N. (2010). *Computational social science* (Vol. 21). Sage.
- Gkiolmas, A., Papamichael, Y., & Tsaganou, G. (2012). Using Simulations of NetLogo as a Tool for Introducing Greek High School Students to Complex Ecosystems. *Proceedings of the 10th International Conference on Computer Based Learning in Science*, 2, 1–8.
- Goldstein, H. A., & Glaser, K. (2012). Research universities as actors in the governance of local and regional development. *The Journal of Technology Transfer*, 37(2), 158–174. <https://doi.org/10.1007/s10961-010-9193-4>
- Gould, E., DiBella, A. J., & Nevis, E. C. (2000). Understanding organizations as learning systems. In D. Morey, M. Maybury, & B. Thuraishingham (Eds.), *\*Knowledge management: Classic and contemporary works\** (pp. 89–107). MIT Press.
- Grant, R. M. (1991). The resource-based theory of competitive advantage: Implications for strategy formulation. *California management review*, 33(3), 114–135.
- Grant, R. M. (1991). The resource-based theory of competitive advantage: Implications for strategy formulation. *California Management Review*, 33 (3), 114–135. <https://doi.org/10.2307/41166664>
- Grimm, V., Berger, U., Bastiansen, F., Eliassen, S., Ginot, V., Giske, J., ... & RailMBAck, S. F. (2006). A standard protocol for describing individual-based and agent-based models. *Ecological Modelling*, 198(1–2), 115–126. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2006.04.023>

- Grimm, V., Berger, U., DeAngelis, D. L., Polhill, J. G., Giske, J., & Railsback, S. F. (2010). The ODD protocol: A review and first update. *Ecological Modelling*, 221(23), 2760–2768. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2010.08.019>
- Hamill, L., & Gilbert, G. (2009). Social circles: A simple structure for agent-based social network models. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 12(2).
- Hayter, C. S., & Link, A. N. (2023). On the incentives to engage in technology transfer: A micro-foundations perspective. *R&D Management*, 53(1), 78–91. <https://doi.org/10.1111/RADM.12434>
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2019). *Multivariate Data Analysis* (8th ed.). Cengage Learning.
- Heartland Forward. (2022). Research to renewal: Advancing university tech transfer. <https://heartlandforward.org/case-study/research-to-renewal-advancing-university-tech-transfer>
- Heinzl, J., Kor, A.-L., Orange, G., & Kaufmann, H. R. (2013). Technology transfer model for Austrian higher education institutions. *The Journal of Technology Transfer*, 38(5), 607–640. <https://doi.org/10.1007/s10961-012-9258-7>
- Heisey, P. W., & Adelman, S. W. (2011). Research expenditures, technology transfer activity, and university licensing revenue. *The Journal of Technology Transfer*, 36(1), 38–60. <https://doi.org/10.1007/s10961-009-9129-z>
- Helton, J. C., & Davis, F. J. (2003). Latin hypercube sampling and the propagation of uncertainty in analyses of complex systems. *Reliability Engineering & System Safety*, 81(1), 23–69. [https://doi.org/10.1016/S0951-8320\(03\)00058-9](https://doi.org/10.1016/S0951-8320(03)00058-9)
- Henríquez, L. M. (2009). *Las relaciones universidad empresa y su efecto sobre la segunda misión universitaria* [Http://purl.org/dc/dcmitype/Text, Universitat Politècnica de València]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=82585>

- Hirsch Adler, A. (1990). Teoría de la Organización y universidad: Una forma de aproximación. *Ibarra, Eduardo et al., Organización y sociedad: el vínculo estratégico, Col. Serie Investigación, 2*, 191–215.
- Holland, J. H. (1995). *Hidden order: How adaptation builds complexity*. Addison-Wesley. <https://doi.org/10.7551/mitpress/1431.001.0001>
- Izquierdo, L. R., Galán Ordax, J. M., Santos, J. I., & Del Olmo Martínez, R. (2008). Modelado de sistemas complejos mediante simulación basada en agentes y mediante dinámica de sistemas. *Empiria. Revista de metodología de ciencias sociales, 0*(16), 85. <https://doi.org/10.5944/empiria.16.2008.1391>
- Jarohnovich, N., & Avotiņš, V. (2009). Assessment of technology transfer and diffusion models in Latvia. *JOURNAL OF BUSINESS MANAGEMENT, 2*. <https://journals.riseba.eu/index.php/jbm/article/view/245>
- Jolliffe, I. T. (2002). *Principal Component Analysis* (2<sup>a</sup> ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/b98835>
- Jolliffe, I. T., & Cadima, J. (2016). Principal component analysis: a review and recent developments. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 374*(2065), 20150202. <https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0202>
- Khabiri, N., Rast, S., & Senin, A. A. (2012). Identifying Main Influential Elements in Technology Transfer Process: A Conceptual Model. *Procedia - Social and Behavioral Sciences, 40*, 417–423. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.03.209>
- Kim, L. (2001). *The Dynamics of Technological Learning in Industrialisation*. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/1468-2451.00316>
- Koza, M., & Lewin, A. (2000). Managing partnerships and strategic alliances: Raising the odds of success. *European Management Journal, 18*(2), 146–151. [https://doi.org/10.1016/S0263-2373\(99\)00086-9](https://doi.org/10.1016/S0263-2373(99)00086-9)
- KPMG, & Colombia Fintech. (2023). *Colombia Tech Report 2023-2024*. Recuperado de <https://colombia.home.kpmg/colombia-tech-report-2023-2024>

- Kumar, S. N., Jantan, D. M., & Thurasamy, R. (2022). Measuring technology transfer success: Empirical evidence from Malaysian firms. *Shanlax International Journal of Management*, 9(4), 1–13.  
<https://doi.org/10.34293/management.v9i4.4656>
- Lambooy, J. (2004). The transmission of knowledge, emerging networks, and the role of universities: An evolutionary approach. *European Planning Studies*, 12(5), 643–657.  
<https://doi.org/10.1080/0965431042000219996>
- Law, A. M. (2014). *Simulation Modeling and Analysis*. McGraw-Hill.
- Lawshe, C. H. (1975). A Quantitative Approach to Content Validity. *Personnel psychology/Berrett-Koehler Publishers*, 28(4), 563–575.
- Lepori, B., Reale, E., & Zunino, F. (2007). Incentives and the dynamics of research performance: Evidence from the Italian university system. *Research Policy*, 36(5), 789–804.  
<https://doi.org/10.1016/j.respol.2007.05.005>
- Lizarazo Rivero, M. L., Jaime, A., Camacho, J. A., & Martínez, H. (2021). *La transferencia de tecnología en universidades públicas de países en desarrollo: El caso de las universidades públicas colombianas*.
- Love, J., Selker, R., Marsman, M., Jamil, T., Dropmann, D., Verhagen, A. J., Ly, A., et al. (2019). JASP: Graphical statistical software for common statistical designs. *Journal of Open Source Software*, 4(43), 1092.  
<https://doi.org/10.18637/jss.v088.i02>
- Lundvall, B.-Å. (1992). *National Systems of Innovation: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning*. Pinter Publishers.
- Lundvall, B.-Å. (2016). *The Learning Economy and the Economics of Hope*. Anthem Press.  
[https://doi.org/10.26530/OAPEN\\_626406](https://doi.org/10.26530/OAPEN_626406)
- Lundvall, B.-A., Dosi, G., & Freeman, C. (1988). Innovation as an interactive process: From user-producer interaction to the national system of innovation. *1988*, 349, 369.

- Lundvall, B.-Å., Johnson, B., Andersen, E. S., & Dalum, B. (2002). National systems of production, innovation and competence building. *Research Policy*, 31(2), 213–231. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(01\)00137-8](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(01)00137-8)
- Macal, C. M., & North, M. J. (2010). Tutorial on agent-based modelling and simulation. *Journal of Simulation*, 4(3), 151–162. <https://doi.org/10.1057/jos.2010.3>
- Madu, C. N. (1990). Prescriptive framework for the transfer of appropriate technology. *Futures*, 22(9), 932–950. [https://doi.org/10.1016/0016-3287\(90\)90062-M](https://doi.org/10.1016/0016-3287(90)90062-M)
- Mankins, J. C. (1995). Technology Readiness Levels: A White Paper. NASA Office of Space Access and Technology.
- Manuela, K., & Manfred, P. (2014). R&D networks and regional knowledge production: An agent-based simulation of the Austrian competence centres programme. *Экономика региона*, 2, 264–275.
- Marešová, P., Soukal, I., & Smutka, L. (2019). Technology transfer from universities: The case of the Czech Republic. *Administrative Sciences*, 9(3), 67. <https://doi.org/10.3390/admsci9030067>
- Markman, G. D., Phan, P. H., Balkin, D. B., & Gianiodis, P. T. (2005). Entrepreneurship and university-based technology transfer. *Journal of Business Venturing*, 20(2), 241–263.
- Marino, S., Hogue, I. B., Ray, C. J., & Kirschner, D. E. (2008). A methodology for performing global uncertainty and sensitivity analysis in systems biology. *Journal of Theoretical Biology*, 254(1), 178–196. <https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2008.04.011>
- Martelo, R. J., Acevedo, D., & Martelo, P. M. (2017). Methodological Guide for Incorporating Academic Competencies to the Curriculum of an Academic Program Through Régnier's Abacus Technique. *International Journal of Engineering and Technology*, 9(6), 4047–4052. <https://doi.org/10.21817/ijet/2017/v9i6/170906026>
- Matthews, R. B., Gilbert, N. G., Roach, A., Polhill, J. G., & Gotts, N. M. (2007). Agent-based land-use models: A review of applications. *Landscape Ecology*, 22(10), 1447–1459. [https://doi.org/10.1007/s10980-007-9135-](https://doi.org/10.1007/s10980-007-9135-1)

- McKay, M. D., Beckman, R. J., & Conover, W. J. (1979). A comparison of three methods for selecting values of input variables in the analysis of output from a computer code. *Technometrics*, 21(2), 239–245. <https://doi.org/10.1080/00401706.1979.10489755>
- Mejía, J. C., Schmal, R., & del Socorro López, M. (2006). Un acercamiento al concepto de la transferencia de tecnología en las universidades y sus diferentes manifestaciones. *Panorama socioeconómico*, 24(32), 70–81.
- Mets, T. (2006). Developing the Sectorial Innovation System of Estonian Biotechnology. *Engineering Economics*, 5 (50), 73–79.
- Meyer, H.-D., & Rowan, B. (2006). Institutional analysis and the study of education. In H.-D. Meyer & B. Rowan (Eds.), *\*The new institutionalism in education\** (pp. 1–13). State University of New York Press.
- Milken Institute. (2017). Concept to commercialization: The best universities for technology transfer. [https://milkeninstitute.org/sites/default/files/reports-pdf/Concept2Commercialization-MR19-WEB\\_2.pdf](https://milkeninstitute.org/sites/default/files/reports-pdf/Concept2Commercialization-MR19-WEB_2.pdf)
- Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación. (2021). *Modelo de medición de grupos de investigación, desarrollo tecnológico o de innovación y de reconocimiento de investigadores 2021*. Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación. <https://minciencias.gov.co>
- Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia. (2023). *Grupos de Investigación reconocidos y categorizados 2023*. <https://minciencias.gov.co/la-ciencia-en-cifras/grupos>
- Ministerio de Educación Nacional. (1992). Ley 30 de 1992: Por la cual se organiza el servicio público de la Educación Superior. [https://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-86430\\_archivo\\_pdf.pdf](https://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-86430_archivo_pdf.pdf)
- Ministerio de Educación Nacional. (2023). *Perfiles departamentales de Educación Superior*. <https://snies.mineducacion.gov.co/portal/Informes-e-indicadores/Perfiles-departamentales-de-Educacion-Superior/>

- Morales Vilha, A., Silva, J., & Fernández, R. (2018). Knowledge transfer in universities. In M. Khosrow-Pour (Ed.), *\*Encyclopedia of information science and technology\** (4th ed., pp. 4250–4260). IGI Global.  
<https://doi.org/10.4018/978-1-5225-2255-3.ch369>
- Moran, M. (2023). Infraestructura. *Desarrollo Sostenible*.  
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/infrastructure/>
- Morris, M. D. (1991). Factorial sampling plans for preliminary computational experiments. *Technometrics*, 33(2), 161–174. <https://doi.org/10.1080/00401706.1991.10484804>
- Muelder, H., & Filatova, T. (2018). One theory-many formalizations: Testing different code implementations of the theory of planned behaviour in energy agent-based models. *Jasss*.
- NASA. (2012). NASA systems engineering handbook (NASA/SP-2007-6105 Rev 1). National Aeronautics and Space Administration.  
Disponible en: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20080008301/downloads/20080008301.pdf>
- NASA. (2012). Technology Readiness Level (TRL). National Aeronautics and Space Administration.  
[https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/engineering/technology/technology\\_readiness\\_level](https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/engineering/technology/technology_readiness_level)
- Necoechea-Mondragón, H., Pineda-Domínguez, D., & Soto-Flores, R. (2013). A Conceptual Model of Technology Transfer for Public Universities in Mexico. *Journal of technology management & innovation*, 8(4), 24–35. <https://doi.org/10.4067/S0718-27242013000500003>
- Nelson, R. R. (1993). *National Innovation Systems: A Comparative Analysis*. Oxford University Press.
- Nelson, R. R. (1996). National Innovation Systems: A Retrospective on a Study. En G. Dosi & F. Malerba (Eds.), *Organization and Strategy in the Evolution of the Enterprise* (pp. 381–409). Palgrave Macmillan UK.  
[https://doi.org/10.1007/978-1-349-13389-5\\_17](https://doi.org/10.1007/978-1-349-13389-5_17)
- Neuländtner, M. (2020). An Empirical Agent-Based Model for Regional Knowledge Creation in Europe. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(8), 477.

- Nonaka, I., Byosiere, P., Borucki, C. C., & Konno, N. (1994). Organizational knowledge creation theory: A first comprehensive test. *International Business Review*, 3(4), 337–351. [https://doi.org/10.1016/0969-5931\(94\)90027-2](https://doi.org/10.1016/0969-5931(94)90027-2)
- Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología – OCyT. (2021). Indicadores de Ciencia, Tecnología e Innovación Colombia 2021 (versión preliminar). Bogotá, Colombia: OCyT. Recuperado de <https://ocyt.org.co/wp-content/uploads/2023/03/indicadores-2021-pre-print.pdf>
- Organisation for Economic Co-operation and Development – OCDE. (2014). OECD Reviews of Innovation Policy: Colombia 2014. *OECD Publishing*. <https://doi.org/10.1787/9789264204638-en>
- Orjuela, W., & Quintero, S. (2019). *Análisis de las dinámicas de interacción entre agentes en el proceso de transferencia de tecnologías*. <https://repositorio.altecasociacion.org/handle/20.500.13048/1793>
- Orjuela-Garzon, W., Quintero, S., Giraldo, D. P., Lotero, L., & Nieto-Londoño, C. (2021). A theoretical framework for analysing technology transfer processes using agent-based modelling: A case study on massive technology adoption (amtec) program on rice production. *Sustainability*, 13(20), 11143.
- Pere, E. C., & Pasola, J. V. (2004). *Tecnología e innovación en la empresa*. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Perkmann, M., Tartari, V., McKelvey, M., Autio, E., Broström, A., D’Este, P., ... & Sobrero, M. (2013). Academic engagement and commercialisation: A review of the literature on university–industry relations. *Research Policy*, 42(2), 423-442.
- Polit, D. F., & Beck, C. T. (2006). The content validity index: are you sure you know what's being reported? Critique and recommendations. *Research in nursing & health*, 29(5), 489-497.
- Ponsiglione, C., Quinto, I., & Zollo, G. (2017). Regional innovation systems: An agent-based laboratory for policy advice. *Innovation Networks for Regional Development: Concepts, Case Studies, and Agent-Based Models*, 185–214.

- Ponsiglione, C., Quinto, I., & Zollo, G. (2017). The role of agent-based modeling in analyzing the self-sustainability of regional innovation systems. *Technological Forecasting and Social Change*, 115, 174–183. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.09.015>
- Quintero, S. (2016). Aprendizaje en los sistemas regionales de innovación: Un modelo basado en agentes. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/57620>
- Rebentisch, E. S., & Ferretti, M. (1995). A knowledge asset-based view of technology transfer in international joint ventures. *Journal of Engineering and Technology Management*, 12(1), 1–25. [https://doi.org/10.1016/0923-4748\(95\)00002-4](https://doi.org/10.1016/0923-4748(95)00002-4)
- Railsback, S. F., & Grimm, V. (2019). *Agent-based and individual-based modeling: A practical introduction (2nd ed.)*. Princeton University Press. ISBN 978-0-691-18244-6. <https://press.princeton.edu/books/paperback/9780691182446/agent-based-and-individual-based-modeling>
- Razali, M. N., Tajuddin, H., Rahim, F. A., & Zin, N. A. M. (2021). The influence of absorptive capacity on technology transfer effectiveness in the Malaysian construction industry. *Journal of Management and Leadership*, 7(2), 33–47. <https://doi.org/10.47970/jml.v7i2.447>
- Riemens, J., Lemieux, A.-A., Lamouri, S., & Garnier, L. (2021). A Delphi-Régnier Study Addressing the Challenges of Textile Recycling in Europe for the Fashion and Apparel Industry. *Sustainability*, 13(21), 11700. <https://doi.org/10.3390/su132111700>
- Rip, A., & van der Meulen, B. J. R. (1996). The post-modern research system. *Science and Public Policy*, 23(6), 343–352. <https://doi.org/10.1093/spp/23.6.343>
- Robledo Velásquez, J., & Ceballos, Y. F. (2008). Study of an innovation process using system dynamics. *Cuadernos de Administración*, 21(35), 127–159.

- Rolfo, S., & Finardi, U. (2014). University Third mission in Italy: Organization, faculty attitude and academic specialization. *The Journal of Technology Transfer*, 39(3), 472–486. <https://doi.org/10.1007/s10961-012-9284-5>
- Rothaermel, F. T., Agung, S. D., & Jiang, L. (2007). University entrepreneurship: A taxonomy of the literature. *Industrial and Corporate Change*, 16(4), 691–791.
- Rothwell, R. (1994a). Issues in user–producer relations in the innovation process: The role of government. *International Journal of Technology Management*, 9(5–7), 629–649. <https://doi.org/10.1504/IJTM.1994.025594>
- Rothwell, R. (1994b). Towards the Fifth-generation Innovation Process. *International Marketing Review*, 11(1), 7–31. <https://doi.org/10.1108/02651339410057491>
- Ruíz, W. L. (2016). *Análisis del impacto de los intermediarios en los sistemas de innovación: Una propuesta desde el modelado basado en agentes*. [Tesis doctoral, Universidad de Antioquia] <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/56636>
- Sábato, J., & Botana, N. (1970). La ciencia y la tecnología en el desarrollo futuro de América Latina. *Instituto de Estudios Peruanos*. <https://repositorio.iep.org.pe/handle/IEP/1037>
- Sabato, J., & Mackenzie, M. (1982). *La producción de tecnología. Autónoma o transnacional*. Nueva Imagen. <https://repositorio.esocite.la/640/>
- Salcedo Obregón, J. P. (2017). *DISEÑO, herramienta de transferibilidad para la I/c+ D+ i de la Universidad El Bosque* [PhD Thesis]. Universitat Politècnica de València.
- Sampieri, R. H., Collado, C. F., & Lucio, P. B. (2014). *Metodología de la investigación* (6ª ed.). McGraw-Hill.
- Sansores, C., & Pavón, J. (2005). *Simulación social basada en agentes*. Universidad Complutense de Madrid. <http://grasia.fdi.ucm.es/docs/SSBA.pdf>
- Sargent, R. G. (2010). Verification and validation of simulation models. *Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference*, 166–183. <https://doi.org/10.1109/WSC.2010.5679166>

- Sargent, R. G. (2013). Verification and validation of simulation models. *Journal of Simulation*, 7(1), 12–24. <https://doi.org/10.1057/jos.2012.20>
- Sarmiento Suárez, J. E. (2021). *Determinantes de la transferencia tecnológica universitaria en Colombia*. [Tesis doctoral, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio UNAL. <https://repositorio.unal.edu.co>
- Scalco, A., Ceschi, A., & Sartori, R. (2018). Application of psychological theories in agent-based modeling: The case of the theory of planned behavior. *Nonlinear Dyn. Psychol. Life Sci*, 22, 15–33.
- Schreinemachers, P., & Berger, T. (2011). An agent-based simulation model of human–environment interactions in agricultural systems. *Environmental Modelling & Software*, 26(7), 845–859. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2011.02.004>
- Siegel, D. S., & van Pottelsberghe de la Potterie, B. (2003). Economics of university technology transfer. *Journal of Technology Transfer*, 28(1), 1–8. <https://doi.org/10.1023/A:1021344603860>
- Siegel, D. S., Waldman, D. A., & Link, A. N. (2003). Assessing the impact of organizational practices on the productivity of university technology transfer offices: an exploratory study. *Research Policy*, 32(1), 27–48.
- Siegel, D. S., Waldman, D. A., Atwater, L. E., & Link, A. N. (2004). Toward a model of the effective transfer of scientific knowledge from academicians to practitioners: Qualitative evidence from the commercialization of university technologies. *Journal of Engineering and Technology Management*, 21(1), 115–142. <https://doi.org/10.1016/j.jengtecman.2003.12.006>
- Siegel, D. S., Veugelers, R., & Wright, M. (2007). Technology transfer offices and commercialization of university intellectual property: Performance and policy implications. *Oxford Review of Economic Policy*, 23(4), 640–660.
- Silva, A. A. (2006). *Poder, gobernabilidad y cambio institucional en las universidades públicas en México, 1990–2000*. Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Ciencias Económico.

- Singh, M. K. M. (2021). A Synergized Education 4.0 Ecosystem Sustainably Aligned With Industry 4.0. En *University-Industry Collaboration Strategies in the Digital Era* (pp. 283–299). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-3901-9.ch014>
- Smith, D. (2009). *Knowledge, Groupware and the Internet*. Routledge.
- Suhartono, E., Suryandari, R. S., & Pradana, M. (2024). Absorptive capacity in vaccine technology transfer: A study of Indonesian biopharmaceutical firms. *Journal of Management and Leadership*, 7(2), 58–70. <https://doi.org/10.47970/jml.v7i2.447>
- Stephan, P. (2012). *How economics shapes science*. Harvard University Press.
- Sterman, J. D. (2000). *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. McGraw-Hill.
- Taouaf, I., Elyoussoufi Attou, O., El Ganich, S., & Arouch, M. (2021). *The Technology Transfer Office (TTO): Toward a Viable Model for Universities in Morocco*. <https://doi.org/10.5295/cdg.191179it>
- Tavera Marín, A. (2013). Simulación basada en agentes para resolver un problema de localización [Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio UNAM. <https://repositorio.unam.mx/contenidos/82781>
- Tesfatsion, L., & Judd, K. L. (Eds.). (2006). *Handbook of computational economics: Agent-based computational economics* (Vol. 2). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S1574-0021\(05\)02016-2](https://doi.org/10.1016/S1574-0021(05)02016-2)
- The Resource-Based Theory of Competitive Advantage: Implications for Strategy Formulation—Robert M. Grant*, 1991. (s/f). Recuperado el 17 de agosto de 2023, de <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.2307/41166664>
- Tisue, S., & Wilensky, U. (2004). NetLogo: Design and Implementation of a Multi-Agent Modeling Environment. *Proceedings of the Agent 2004 Conference on Social Dynamics: Interaction, Reflexivity and Emergence*. <https://ccl.northwestern.edu/papers/agent2004.pdf>

- Triulzi, G., Pyka, A., & Scholz, R. (2014). R&D and knowledge dynamics in university-industry relationships in biotech and pharmaceuticals: An agent-based model. *International Journal of Biotechnology* 6, 13(1–3), 137–179. <https://doi.org/10.1504/IJBT.2014.059655>
- Tshikovhi, N., Mpofu, R. T., & Agolla, J. E. (2020). The role of incentives in strengthening university technology transfer: Evidence from developing country contexts. *The Southern African Journal of Entrepreneurship and Small Business Management*, 12(1), 1–11. <https://doi.org/10.4102/sajesbm.v12i1.329>
- Umlauf, M., & Schranz, M. (2023). Using NetLogo to Simulate Large Production Plants: Simulation Performance: A Case Study. *Proceedings of the 13th International Conference on Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications (SIMULTECH)*, 127–134. <https://www.scitepress.org/Papers/2024/127688/127688.pdf>
- Valencia Salazar, J. D. (2023). *Transferencia de conocimiento en los sistemas regionales de innovación: Un estudio aplicado a Colombia* [Tesis doctoral, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/84088/10013704.2023.pdf?sequence=2>
- Vargas González, J., Zambalde, A. L., Grützmann, A., & Gomes, L. G. (2021). Factores Críticos de éxito en la Comercialización de Tecnologías en Universidades: Un estudio bibliográfico. *Revista Gestión y tecnología* 21 (2), 45-62. <https://repositorio.altecasociacion.org/handle/20.500.13048/1439>
- Vermeulen, B., & Pyka, A. (2016). Agent-based Modeling for Decision Making in Economics under Uncertainty. *Economics*, 10(1). <https://doi.org/10.5018/economics-ejournal.ja.2016-6>
- Wilensky, U. (1999). NetLogo. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University. <https://ccl.northwestern.edu/netlogo/>
- World Intellectual Property Organization (WIPO). (2023). *Global Innovation Index 2023*. <https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo-pub-2000-2023-en-main-report-global-innovation-index-2023.pdf>

- 
- Zahra, S. A., & George, G. (2002). Absorptive capacity: A review, reconceptualization, and extension. *Academy of Management Review*, 27(2), 185–203. <https://doi.org/10.5465/amr.2002.6587995>.
- Zamanzadeh, V., Ghahramanian, A., Rassouli, M., Abbaszadeh, A., Alavi-Majd, H., & Nikanfar, A. R. (2015). Design and implementation content validity study: Development of an instrument for measuring patient-centered communication. *Journal of Caring Sciences*, 4(2), 165–178.
- Zamanzadeh, V., Rassouli, M., Abdollahzadeh, F., Baghestani, A. R., Rezaei, T., & Howard, F. (2015). Ensuring content validity in instrument development: The CVI, CVR, and Kappa statistics. *Journal of Caring Sciences*, 4 (2), 165–178. <https://doi.org/10.15171/jcs.2015.017>
- Zeigler, B. P., Praehofer, H., & Kim, T. G. (2000). *Theory of modeling and simulation* (2nd ed.). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-012778455-7/50004-1>
- Zhao, L., & Reisman, A. (1992). Toward meta research on technology transfer. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 39(1), 13–21. <https://doi.org/10.1109/17.119659>

7. Anexos

7.1 Anexo 1. Calificación de variables por parte de expertos utilizando el Ábaco de Régnier

Importancia alta	Andrés Jiménez Forero	Carlos Ocampo	Diego Gómez	Edgar René Yepes	María Luisa Nieto
Importancia Media					
Importancia neutra					
Importancia baja					
importancia muy baja					
Sin Respuesta					
01.Capacidad para la generación de redes					
02.Orientación de la misión, estrategia, políticas institucionales para promover a la TT					
03.Capacidades en Infraestructura para la generación de conocimiento					
04.Capacidades en Infraestructura para los procesos de TT					
05.Recursos financieros para la TT					
06.Tamaño y perfil del equipo de trabajo para TT					
07.Número, perfil y entrenamiento de los investigadores en procesos de TT					
08.Excelencia científica (medición grupos e investigadores)					
09.Nivel de motivación de los investigadores					
10.Nivel de motivación del equipo de TT					
11.Área y cargos definidos para TT en la estructura organizacional					
12.Estructura de apoyo organizacional para la TT					
13.Incentivos para la TT					
14.Articulación con la demanda					
15.Capacidades para la identificación de las necesidades del mercado					
16.Capacidades en negociación y comercialización de tecnología					
17.Modelo de gestión y planificación de la TT en las Universidades					
18.Indicadores del proceso de TT					
19.Programas, cursos de extensión, diplomados, seminarios					
20.Capacidades en servicios tecnológicos					
21.Capacidades para la divulgación y difusión de los resultados de investigación y TT					
22.Propiedad intelectual (número registros, patentes, modelos de utilidad, diseños industriales)					
23.Número de licencias, convenios o contratos en las universidades					
24.Número de spin off, Startup					
25.Regalías por procesos de TT					
26.Ingresos por programas, cursos de extensión, diplomados, seminarios objeto de los procesos de TT					
27.Proyectos conjuntos con empresas en investigación y desarrollo					
28.Difusión del conocimiento en revistas científicas					
29.Alquiler de equipos tecnológicos para el desarrollo de procesos de I+D+i					

30.Cantidad, calidad y nivel de madurez de las tecnologías resultado de investigación (inventario tecnológico)					
31.Cultura de la innovación entre los investigadores y la comunidad universitaria (conocimiento del tema, de las condiciones institucionales y los procesos, interés por su desarrollo y existencia de rutinas organizacionales orientadas a la TT)					
32.Acceso de las empresas a programas, convocatorias y fuentes de financiación a los procesos de TT					
33.Capacidad de las empresas para generar redes					
34.Capacidades de absorción y aprendizaje de las empresas					
35.Nivel de desarrollo tecnológico de las empresas					
36.Capacidad de los equipos de trabajo de las empresas para los procesos de TT					
37.Capacidad en la identificación, desarrollo y comercialización de tecnología de la empresa					
38.Modelos de gestión y planificación de la TT en las empresas					
39.Propiedad intelectual (número registros, patentes, modelos de utilidad, diseños industriales)					
40.Número de licencias, convenios o contratos en las empresas					
41.Número de spin off, Startup					
42.Regalías por procesos de TT					
43.Capacidad de las empresas para realizar Convenios con Universidades					
44. Empresas con área o departamento de I+D+i					
45.Infraestructura tecnológica de las empresas para el desarrollo de procesos de I+D+i					
46.Programas, convocatorias y fuentes de financiación a los procesos de TT					
47.Condiciones del entorno para el desarrollo de actividades de TT					
48.Mecanismos y herramientas disponibles en el SRI para la TT universitaria					
49.Capacidad de cooperación entre los actores del SRI para la TT					
50.Políticas, normativas entorno a la Propiedad Intelectual					
51.Adecuación entre la oferta y la demanda de tecnología (Universidad – Empresa)					
52.Estructuras de intermediación para la TT					
53.Regulación y normativa para la TT					
54.Cultura de cooperación entre actores del SRI (Universidad – Empresa)					
55.Redes temáticas en el SRI					
56.Relación de confianza entre los actores del SRI					
57.Credibilidad de las universidades ante el SRI					

**7.2 Anexo 2. Variables seleccionadas**

Variables	Calificación					Relevancia
27. Proyectos conjuntos con empresas en investigación y desarrollo	5	5	5	5	5	Alta
36. Capacidad de los equipos de trabajo de las empresas para los procesos de TT	5	5	5	5	5	
14. Articulación con la demanda	5	5	5	5	5	
15. Capacidades para la identificación de las necesidades del mercado	5	5	5	5	5	
13. Incentivos para la TT	5	5	5	5	4	
31. Cultura de la innovación entre los investigadores y la comunidad universitaria (conocimiento del tema, de las condiciones institucionales y los procesos, interés por su desarrollo y existencia de rutinas organizacionales orientadas a la TT)	5	5	5	4	5	
34. Capacidades de absorción y aprendizaje de las empresas	5	4	5	5	5	
41. Número de spin off, Startup	5	4	5	5	5	
16. Capacidades en negociación y comercialización de tecnología	5	4	5	5	5	
10. Nivel de motivación del equipo de TT	5	5	4	5	5	
02. Orientación de la misión, estrategia, políticas institucionales para promover a la TT	5	3	5	5	5	
44. Empresas con área o departamento de I+D+i	5	5	4	5	5	
32. Acceso de las empresas a programas, convocatorias y fuentes de financiación a los procesos de TT	5	4	5	5	5	
05. Recursos financieros para la TT	5	4	5	5	5	
35. Nivel de desarrollo tecnológico de las empresas	5	5	5	4	5	
56. Relación de confianza entre los actores del SRI	5	3	5	5	5	
54. Cultura de cooperación entre actores del SRI (Universidad – Empresa)	5	4	5	5	5	
21. Capacidades para la divulgación y difusión de los resultados de investigación y TT	5	4	5	5	5	
25. Regalías por procesos de TT	5	3	5	5	5	
01. Capacidad para la generación de redes	5	5	4	5	5	
48. Mecanismos y herramientas disponibles en el SRI para la TT universitaria	5	3	5	5	5	
23. Número de licencias, convenios o contratos en las universidades	5	2	5	5	5	Media
51. Adecuación entre la oferta y la demanda de tecnología (Universidad – Empresa)	5	4	3	5	5	
06. Tamaño y perfil del equipo de trabajo para TT	5	5	4	5	3	
45. Infraestructura tecnológica de las empresas para el desarrollo de procesos de I+D+i	4	5	5	5	5	

37.Capacidad en la identificación, desarrollo y comercialización de tecnología de la empresa							
49.Capacidad de cooperación entre los actores del SRI para la TT							
39.Propiedad intelectual (número registros, patentes, modelos de utilidad, diseños industriales)							
42.Regalías por procesos de TT							
09.Nivel de motivación de los investigadores							
17.Modelo de gestión y planificación de la TT en las Universidades							
07.Número, perfil y entrenamiento de los investigadores en procesos de TT							
18.Indicadores del proceso de TT							
50.Políticas, normativas entorno a la Propiedad Intelectual							
46.Programas, convocatorias y fuentes de financiación a los procesos de TT							
47.Condiciones del entorno para el desarrollo de actividades de TT							
43.Capacidad de las empresas para realizar Convenios con Universidades							
57.Credibilidad de las universidades ante el SRI							Baja
52.Estructuras de intermediación para la TT							
24.Número de spin off, Startup							
55.Redes temáticas en el SRI							
40.Número de licencias, convenios o contratos en las empresas							
11.Área y cargos definidos para TT en la estructura organizacional							
12.Estructura de apoyo organizacional para la TT							
38.Modelos de gestión y planificación de la TT en las empresas							
30.Cantidad, calidad y nivel de madurez de las tecnologías resultado de investigación (inventario tecnológico)							
22.Propiedad intelectual (número registros, patentes, modelos de utilidad, diseños industriales)							
33.Capacidad de las empresas para generar redes						Muy Baja	
53.Regulación y normativa para la TT							
20.Capacidades en servicios tecnológicos							
26.Ingresos por programas, cursos de extensión, diplomados, seminarios objeto de los procesos de TT							
04.Capacidades en Infraestructura para los procesos de TT							
08.Excelencia científica (medición grupos e investigadores)							
03.Capacidades en Infraestructura para la generación de conocimiento							
19.Programas, cursos de extensión, diplomados, seminarios							

28.Difusión del conocimiento en revistas científicas	■	■	■	■	■	
29.Alquiler de equipos tecnológicos para el desarrollo de procesos de I+D+i	■	■	■	■	■	

**7.3 Anexo 3. Clasificación de las variables por tipología**

Categoría	Variable	Tipo de Variable							
		Dependien te	Independien te	Mediadora	Moderadora	Control	Micro	Macr o	Meso
Enfoque del agente facilitador		Es el factor que el investigador observa o mide para determinar el efecto de la variable independiente	Es la variable que el investigador manipula para determinar la relación con el fenómeno observado	Es la variable que el experimentador puede cambiar.	Es un tipo de variable independiente. Es medida, manipulada o seleccionada para comprobar si modifica la relación entre la variable independiente y la variable dependiente	Es la que el investigador controla con el fin de eliminar o neutralizar sus efectos en la variable dependiente			
	1.Capacidad para la generación de redes	X					X		

2.Orientación de la misión y estrategia a la TT		X		X
5.Recursos financieros para la TT		X		X
6.Tamaño y perfil del equipo de trabajo para TT		X		X
7.Número y perfil de los investigadores	X			X
9.Nivel de motivación de los investigadores	X			X
10. Nivel de motivación del equipo de TT	X			X
13. Incentivos para la TT		X		X
14. Articulación con la demanda		X		X
15. Capacidades para la identificación de las necesidades del mercado	X			X
16. Capacidades en negociación y comercialización de tecnología	X			X
17. Modelo de gestión y planificación de la TT		X		X
18. Indicadores del proceso de TT		X		X
21. Capacidades para la divulgación y difusión de los resultados de investigación y TT	X			X
23. Número de licencias, convenios o contratos en las universidades	X			X
25. Regalías por procesos de TT	X			X

	27. Proyectos conjuntos con empresas en investigación y desarrollo	X				X
	31. Cultura de la innovación entre los investigadores y la comunidad universitaria (conocimiento del tema, de las condiciones institucionales y los procesos, interés por su desarrollo y existencia de rutinas organizacionales orientadas a la TT)		X			X
<b>Enfoque del agente receptor</b>	32. Acceso de las empresas a programas, convocatorias y fuentes de financiación a los procesos de TT				X	X
	34. Capacidades de absorción y aprendizaje de las empresas				X	X
	35. Nivel de desarrollo tecnológico de las empresas				X	X
	36. Capacidad de los equipos de trabajo de las empresas para los procesos de TT				X	X
	37. Capacidad en la identificación, desarrollo y comercialización de tecnología de la empresa				X	X
	39. Propiedad intelectual (número registros, patentes, modelos de utilidad, diseños industriales)				X	X
	41. Número de spin off, Startup				X	X

	42. Regalías por procesos de TT	X		X
	43. Capacidad de las empresas para realizar Convenios con Universidades	X	X	
	44. Empresas con áreas o departamentos de I+D+i	X	X	
	45. Infraestructura tecnológica de las empresas para el desarrollo de procesos de I+D+i	X	X	
<b>Factores relacionados con el entorno y las transacciones</b>	46. Programas, convocatorias y fuentes de financiación a los procesos de TT	X		X
	47. Condiciones del entorno para el desarrollo de actividades de TT	X		X
	48. Mecanismos y herramientas disponibles en el SRI para la TT Universitaria	X		X
	49. Capacidad de cooperación entre los actores del SRI para la TT	X		X
	50. Políticas, normativas entorno a la Propiedad Intelectual	X		X
	51. Adecuación entre la oferta y la demanda de tecnología (Universidad – Empresa)	X		X
	54. Cultura de cooperación entre actores del SRI (Universidad – Empresa)	X		X

---

56. Relación de confianza entre los actores del SRI	X	X
57. Credibilidad de las universidades ante el SRI	X	X

#### 7.4 Anexo 4. Instrumento de validación del cuestionario

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
DOCTORADO EN GESTIÓN DE LA TECNOLOGÍA Y LA INNOVACIÓN**

**INSTRUMENTO DE VALIDACIÓN DEL CUESTIONARIO SOBRE EL DESEMPEÑO DE LA TRANSFERENCIA  
TECNOLÓGICA EN UNIVERSIDADES**

**Instrumento:** Encuesta sobre el Desempeño de la Transferencia Tecnológica en Universidades: Una mirada desde los Sistemas Regionales de Innovación

#### Información del Experto

- **Nombre del Experto:** \_\_\_\_\_
- **Institución Representada:** \_\_\_\_\_
- **Formación Académica:** \_\_\_\_\_
- **Áreas de Experiencia Profesional:** \_\_\_\_\_

#### Propósito de la Evaluación

El propósito de esta evaluación es identificar la relevancia y adecuación de cada pregunta en el instrumento en relación con el objetivo de analizar el desempeño de la Transferencia Tecnológica (TT) en universidades, específicamente en el contexto de los Sistemas Regionales de Innovación (SRI).

#### Instrucciones

Este instrumento tiene como objetivo evaluar la validez de cada pregunta del cuestionario original sobre el desempeño de la transferencia tecnológica en universidades. Se solicita a los expertos evaluar cada pregunta en tres dimensiones:

1. **Relevancia:** ¿Qué tan importante es la pregunta para medir el constructo correspondiente?
2. **Claridad:** ¿La pregunta está formulada de manera clara y comprensible?
3. **Pertinencia:** ¿La pregunta está alineada con el objetivo general del instrumento?

Para cada dimensión, califique en una escala de 1 a 5:

- **1:** Muy bajo
- **2:** Bajo
- **3:** Medio
- **4:** Alto
- **5:** Muy alto

Tabla de Evaluación de las Preguntas de la Encuesta

No.	Pregunta Original	Relevancia (1-5)	Claridad (1-5)	Pertinencia (1-5)
1	¿La universidad cuenta con Oficina de Transferencia Tecnológica (OTT)?			
2	Si cuenta con OTT, ¿esta se encuentra adscrita a qué dependencia?			
3	¿La universidad cuenta con un modelo y procesos definidos de Transferencia Tecnológica?			
4	¿Cuántas personas trabajan en la OTT?			
5	¿Cuál es el nivel de formación de los colaboradores en la OTT?			
6	¿Cuáles son las áreas de especialización de los colaboradores en la OTT?			
7	¿Cuáles son los incentivos con los que cuenta la universidad para motivar la TT?			
8	¿Promedio de inversión por año en procesos de TT?			
9	Teniendo en cuenta el promedio de inversión por año, ¿cuál es su percepción sobre los recursos financieros destinados por su universidad para la colaboración efectiva en TT?			
10	¿Qué mecanismos son los más utilizados por la universidad para realizar TT?			
11	¿Número de proyectos activos actualmente y su TRL (Nivel de Madurez Tecnológica)?			
12	¿Nivel promedio de madurez tecnológica (TRL) alcanzado en los proyectos transferidos?			
13	¿Percibe usted que los proyectos alcanzan el TRL deseado para una transferencia efectiva?			
14	¿Promedio de ingresos por regalías recibidas por TT?			
15	Valoración del nivel de aprendizaje obtenido en la gestión de la TT			
16	¿Cómo valoraría la importancia de la acumulación de conocimiento a través de proyectos de TT?			
17	¿Número de proyectos actuales con articulación directa con el sector empresarial?			
18	¿La universidad participa en redes, asociaciones o demás agrupaciones del SRI?			
19	¿La universidad considera que el SRI cuenta con estrategias o políticas claras para el apoyo a procesos de TT?			

No.	Pregunta Original	Relevancia (1-5)	Claridad (1-5)	Pertinencia (1-5)
20	¿La universidad considera importante que las empresas receptoras de la TT cuenten con capacidad de cooperación entre los actores del Sistema Regional de Innovación para la TT?			
21	¿La universidad considera importante la cultura de cooperación entre los actores del Sistema Regional de Innovación?			
22	¿La universidad considera importante la relación de confianza entre los actores del Sistema Regional de Innovación?			
23	¿La universidad considera importante su credibilidad frente a los actores del Sistema Regional de Innovación?			
24	¿Cuál es el alcance geográfico de los proyectos de TT?			
25	¿Cuál es el nivel de influencia percibido de la universidad en el entorno de innovación regional?			
26	¿Qué políticas o estrategias podrían mejorar el desempeño de los modelos de TT?			
27	¿Duración promedio de los proyectos de TT?			
28	¿Porcentaje de proyectos de TT discontinuados antes de cumplir sus objetivos?			
29	¿Porcentaje de proyectos de TT con vinculación directa con empresas?			
30	¿Frecuencia de colaboración con empresas en proyectos de TT?			
31	Califique la importancia de los siguientes factores para el éxito de las colaboraciones en TT: Alineación de objetivos, transparencia, reciprocidad, confianza y compromiso a largo plazo.			

Observaciones al instrumento:

Fuente: elaboración propia (2024)

## 7.5 Anexo 5. Instrumento de recolección de datos

### **UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA DOCTORADO EN GESTIÓN DE LA TECNOLOGÍA Y LA INNOVACIÓN. Encuesta sobre el desempeño de la Transferencia Tecnológica en las Universidades desde los Sistemas Regionales de Innovación.**

**Objetivo:** Recopilar datos e información primaria de las universidades en los departamentos de Antioquia y Risaralda, en aspectos relacionados con el desempeño de la transferencia tecnológica universitaria en el marco de los Sistemas Regionales de Innovación, más específicamente la relación de estos procesos con el sector empresarial.

#### **Consentimiento Informado**

a) La encuesta sólo tomará 10 minutos y sus respuestas serán totalmente anónimas y los datos recolectados serán analizados de manera conjunta y no de forma particular.

b) La participación en el estudio es libre y voluntaria. Los participantes podrán retirarse de la investigación en el momento que lo deseen sin ningún tipo de consecuencia. La participación en el estudio no implica remuneración económica para el participante, de igual forma no deberá incurrir en ningún gasto económico.

c) El riesgo de participar en este estudio es mínimo, en caso de presentar alguna dificultad por favor contactarse con el investigador principal.

d) Teniendo en cuenta los literales a, b y c, al llenar la encuesta usted está declarando que tiene conocimiento que su participación es completamente libre y voluntaria, que tiene claridad sobre la naturaleza y alcance de la investigación y comprende los beneficios y riesgos de participar en esta.

Frente a dudas o recomendaciones comunicarse con José Eduardo Navarrete al correo electrónico [jnavarretevm@gmail.com](mailto:jnavarretevm@gmail.com) o [carlos.ocampo@upb.edu.co](mailto:carlos.ocampo@upb.edu.co)

Sus respuestas son un insumo muy valioso para el desarrollo del estudio doctoral en Gestión Tecnológica y la Innovación y la construcción de estrategias y políticas que fortalezcan la Transferencia Tecnológica Universitaria.

Doctorado en Gestión de la Tecnología y la Innovación – Universidad Pontificia Bolivariana. Estudiante: José Eduardo Navarrete Velázquez. Director de Tesis: PhD: Carlos Ocampo López.

**1. Datos Generales****1.1 Nombre de la Universidad:****1.2 Nombre de quien diligencia la encuesta:**

3. 1.3 Cargo:

---

**2. Estrategia y planificación**

4. 2.1 ¿La Universidad cuenta con una dependencia encargada de TT o que haga sus veces de Oficina de Transferencia Tecnológica (OTT)?

*Marca solo un óvalo.* Sí No

5. 2.2 De contar con OTT, ¿está se encuentra adscrita a que dependencia?

---

6. 2.3 ¿La Universidad cuenta con un modelo o procesos definidos de Transferencia Tecnológica (TT)?

*Marca solo un óvalo.* Sí No

7. 2.4 ¿Cuántas personas trabajan en la OTT?

*Marca solo un óvalo.* 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Otro: 

---

8. 2.5 ¿Cuál es el nivel de formación de los colaboradores en la OTT?

Selecciona todos los que correspondan.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Técnico	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Tecnológico	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pregrado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Especialización	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Maestría	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Doctorado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

8. 2.5 ¿Cuál es el nivel de formación de los colaboradores en la OTT?

Selecciona todos los que correspondan.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Técnico	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Tecnológico	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pregrado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Especialización	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Maestría	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Doctorado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

10. 2.7 ¿Cuáles son los incentivos con los que cuenta la Universidad para motivar la TT:

Selecciona todos los que correspondan.

- Bonificación salarial
- Reconocimiento en escalafón docente
- Regalías del proyecto
- Descarga en la agenda docente
- Otro: \_\_\_\_\_

11. 2.8 ¿Cuál es el promedio de inversión por año en procesos de TT (capacitación de personal, financiación de proyectos, propiedad intelectual, infraestructura, validación, entre otros) ?

Marca solo un óvalo.

- 1 a 10 millones
- 10 a 50 millones
- 50 a 100 millones
- 100 a 500 millones
- Más de 500 millones de pesos y otros (especifique)

12. 2.9 Teniendo en cuenta el promedio de inversión por año, ¿Cuál es su percepción sobre los recursos financieros destinados por su universidad para la colaboración efectiva en TT? Califique de 1 a 5, donde 1 es poco importante y 5 es muy importante

1 2 3 4 5

---

**3. Capacidad de Gestión en Transferencia Tecnológica**

13. 3.1 ¿Qué mecanismos son los más utilizados por la Universidad para realizar TT?:

*Selecciona todos los que correspondan.*

	Frecuentemente	Ocasionalmente	Nunca
<b>Capacitación del Talento Humanos (Seminarios, cursos, diplomados)</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Investigación y desarrollo por contrato</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Licenciamiento</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Transferencia de Know-how</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Creación de empresas de base Tecnológica</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

14. 3.2 ¿Cuál es el número de proyectos activos actualmente según TRL (Nivel de Madurez Tecnológica)?: **TRL 1**

\_\_\_\_\_

15. 3.2 ¿Cuál es el número de proyectos activos actualmente según TRL (Nivel de Madurez Tecnológica)?: **TRL 2**

\_\_\_\_\_

16. 3.2 ¿Cuál es el número de proyectos activos actualmente según TRL (Nivel de Madurez Tecnológica)?: **TRL 3**

\_\_\_\_\_

17. 3.2 ¿Cuál es el número de proyectos activos actualmente según TRL (Nivel de Madurez Tecnológica)?: **TRL 4**

\_\_\_\_\_

18. 3.2 ¿Cuál es el número de proyectos activos actualmente según TRL (Nivel de Madurez Tecnológica)?: **TRL 5**

\_\_\_\_\_

19. 3.2 ¿Cuál es el número de proyectos activos actualmente según TRL (Nivel de Madurez Tecnológica)?: **TRL 6**

\_\_\_\_\_

20. 3.2 ¿Cuál es el número de proyectos activos actualmente según TRL (Nivel de Madurez Tecnológica)?: **TRL 7**

\_\_\_\_\_

21. 3.2 ¿Cuál es el número de proyectos activos actualmente según TRL (Nivel de Madurez Tecnológica)?: **TRL 8**

22. 3.2 ¿Cuál es el número de proyectos activos actualmente según TRL (Nivel de Madurez Tecnológica)?: **TRL 9**

\_\_\_\_\_

23. 3.3 ¿Cuántos proyectos han logrado transferir en los últimos 15 años?

*Marca solo un óvalo.*

- 0
- 1 - 3
- 4 - 7
- 7 - 10
- 10 - 15
- Otro: \_\_\_\_\_

24. 3.4 ¿Cuál es el nivel promedio de madurez tecnológica (TRL) alcanzado en los proyectos transferidos?

*Marca solo un óvalo.*

- TRL 1-3 (Investigación básica y aplicada)
- TRL 4-6 (Desarrollo experimental y validación)
- TRL 7-9 (Demostración y comercialización)

25. 3.5 ¿Percibe usted que los proyectos alcanzan el TRL deseado para una transferencia efectiva?:

*Marca solo un óvalo.*

- Si
- No
- A veces

26. 3.6 ¿Cuál es el promedio de ingresos por regalías recibidas por TT en los últimos 10 años ?

*Marca solo un óvalo.*

- Ninguna
- 1 a 10 millones
- 10 a 50 millones
- 50 a 100 millones
- 100 a 500 millones
- Otro: \_\_\_\_\_

27. 3.7 ¿Cuál es la valoración del nivel de aprendizaje obtenido en la gestión de la TT?

*Marca solo un óvalo.*

- Bajo  
 Medio  
 Medio Alto  
 Alto  
 Muy Alto

28. 3.8 ¿Cómo valoraría la importancia de la acumulación de conocimiento en los procesos de transferencia a través de proyectos de TT? Califique de 1 a 5, donde 1 es **poco importante** y 5 es **muy importante**

1 2 3 4 5



#### 4. Relacionamiento con el Sistema Regional de Innovación (SRI)

29. 4.1 ¿Número de proyectos actuales con articulación directa con el sector empresarial?

*Marca solo un óvalo.*

- 1  
 2  
 3  
 4  
 5  
 6  
 7  
 8  
 9  
 10  
 Otro: \_\_\_\_\_

30. 4.2 ¿La Universidad participa en redes, asociaciones o demás agrupaciones del SRI?

*Marca solo un óvalo.*

- Sí  
 No

31. 4.3 ¿La Universidad considera que el SRI cuenta con estrategias o políticas claras para el apoyo a procesos de TT?

*Marca solo un óvalo.*

- Sí  
 Tal vez  
 No

32. 4.4 ¿La Universidad considera relevante que las empresas receptoras de la TT cuenten con capacidad de cooperación entre los actores del Sistema Regional de Innovación para la TT?

*Marca solo un óvalo.*

- Sí  
 No

33. 4.5 ¿La Universidad considera importante la cultura de cooperación entre los actores del Sistema Regional de Innovación?

*Marca solo un óvalo.*

- Si  
 No

34. 4.6 : ¿La universidad considera importante generar relaciones de confianza entre los actores del Sistema Regional de Innovación?

*Marca solo un óvalo.*

- Sí  
 No

35. 4.7 ¿La Universidad considera importante su credibilidad frente a los actores del Sistema Regional de Innovación?

*Marca solo un óvalo.*

- Sí  
 No

36. 4.8. ¿Cuál es el alcance geográfico de los proyectos de TT?

*Marca solo un óvalo.*

- Local  
 Regional  
 Nacional  
 Internacional

37. 4.9. ¿Cuál es el nivel de influencia de la universidad en el entorno de innovación regional? Califique de 1 a 5, donde 1 es **baja influencia** y 5 es **alta influencia**

1   2   3   4   5


38. 4.10. ¿Qué Políticas o estrategias podrían mejorar el desempeño de los modelos de TT universitaria (seleccione las que apliquen)? Califique de 1 a 5, donde 1 es **baja importancia** y 5 es **alta importancia**

*Selecciona todos los que correspondan.*

	1	2	3	4	5
<b>Mayor financiamiento gubernamental</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Incentivos fiscales para empresas colaboradoras</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Fortalecimiento de las oficinas de TT en universidades</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Programas de formación especializada en TT</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Mejora en la protección de propiedad intelectual</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Fomento de la cultura de innovación y emprendimiento</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Otro:</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**5. Duración y Ciclo de Vida de los Proyectos de TT**

39. 5.1. ¿Cuál es la duración promedio de los proyectos de TT en su fase de desarrollo antes de ser comercializados (Relación universidad - empresa)?:

*Marca solo un óvalo.*

- Menos de 6 meses
- Entre 6 meses y 1 año
- Entre 1 y 2 años
- Más de 2 años

40. 5.2. ¿Cuál es el porcentaje de proyectos de TT discontinuados antes de cumplir sus objetivos?

Marca solo un óvalo.

- Menos del 10%
- Entre el 10% y el 30%
- Entre el 30% y el 50%
- Más del 50%

41. 5.3 ¿Cuáles son los factores más frecuentes para discontinuar un proyecto de transferencia tecnológica?

Marca solo un óvalo por fila.

	Seleccione las que apliquen
Poca capacidad de gestión de la OTT	<input type="radio"/>
Falta de tiempo de los investigadores	<input type="radio"/>
Poca capacidad tecnológica	<input type="radio"/>
Falta de Infraestructura	<input type="radio"/>
Falta de recursos para validación	<input type="radio"/>
Falta de conexión entre la Universidad y la empresa	<input type="radio"/>
Mucho tiempo para el desarrollo y puesta a punto de la tecnología	<input type="radio"/>
Barreras regulatorias	
Otros	

**6. Interacción y Vinculación con el Sector Empresarial**

42. 6.1. ¿Cuál es porcentaje de proyectos de TT con vinculación directa con empresas?

*Marca solo un óvalo.*

- Ninguno
- Menos del 25%
- Entre el 25% y el 50%
- Entre el 50% y el 75%
- Más del 75%

43. 6.2. ¿Cuál es la frecuencia de colaboración con empresas en proyectos de TT?

*Marca solo un óvalo.*

- Frecuentemente
- Ocasionalmente
- Nunca

44. 6.3 . Califique la importancia de los siguientes factores para el éxito de las colaboraciones en TT, donde 1 es nada importante y 5 es muy importante

*Marca solo un óvalo por fila.*

	1	2	3	4	5
<b>Alineación de objetivos entre universidad y empresa</b>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<b>Transparencia en las negociaciones</b>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<b>Reciprocidad en el intercambio de conocimientos</b>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<b>Confianza mutua</b>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<b>Compromiso a largo plazo</b>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<b>Capacidad en la implementación, validación y comercialización entre las partes</b>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Muchas Gracias por su apoyo !

## 7.6 Anexo 6. Instrumento de validación del modelo

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA**  
**DOCTORADO EN GESTIÓN DE LA TECNOLOGÍA Y LA INNOVACIÓN**  
**Encuesta de validación del modelo de simulación basada en agentes para los procesos de**  
**Transferencia Tecnológica en las Universidades**

**Objetivo:** Este cuestionario tiene como propósito validar, mediante su juicio experto, la representación conceptual y computacional de un modelo de simulación basada en agentes para la transferencia tecnológica en universidades.

### Consentimiento Informado

- a) La encuesta sólo tomará 15 minutos y sus respuestas serán totalmente anónimas y los datos recolectados serán analizados de manera conjunta y no de forma particular.
- b) La participación en el estudio es libre y voluntaria. Los participantes podrán retirarse de la investigación en el momento que lo deseen sin ningún tipo de consecuencia. La participación en el estudio no implica remuneración económica para el participante, de igual forma no deberá incurrir en ningún gasto económico.
- c) El riesgo de participar en este estudio es mínimo, en caso de presentar alguna dificultad por favor contactarse con el investigador principal.
- d) Teniendo en cuenta los numerales a, b y c, al llenar la encuesta usted está declarando que tiene conocimiento que su participación es completamente libre y voluntaria, que tiene claridad sobre la naturaleza y alcance de la investigación y comprende los beneficios y riesgos de participar en esta.

Frente a dudas o recomendaciones comunicarse con José Eduardo Navarrete al correo electrónico [jnavarretevm@gmail.com](mailto:jnavarretevm@gmail.com) o [carlos.ocampo@upb.edu.co](mailto:carlos.ocampo@upb.edu.co)

Sus respuestas son un insumo muy valioso para el desarrollo del estudio doctoral en Gestión Tecnológica y la Innovación y la construcción de estrategias y políticas que fortalezcan la Transferencia Tecnológica Universitaria.

Doctorado en Gestión de la Tecnología y la Innovación – Universidad Pontificia Bolivariana. Estudiante: José Eduardo Navarrete Velázquez. Director de Tesis: PhD: Carlos Ocampo López.

### 1. Datos Generales

**Nombre de quien diligencia la encuesta:** \_\_\_\_\_

**Cargo:** \_\_\_\_\_

**Experiencia:** \_\_\_\_\_

### 2. Validación del Modelo

Por favor, responda a cada afirmación marcando 'Sí' o 'No' según su experiencia y criterio, considerando si los supuestos, reglas de comportamiento y factores del modelo representan adecuadamente la realidad de los procesos de transferencia tecnológica universitaria.

1. ¿Considera que la representación del proceso de transferencia tecnológica en las universidades mediante tres agentes (universidades, empresas y proyectos), constituye una representación válida de la realidad?

Sí: \_\_\_\_\_ No: \_\_\_\_\_

Si su respuesta fue **SI** por favor calificar:

Grado de validez del supuesto: 1: muy bajo 5: muy alto

1:	2:	3:	4:	5:
----	----	----	----	----

2. ¿Considera que el modelo con atributos como riqueza institucional (como inversión a proyectos tecnológicos), nivel de madurez tecnológica (TRL) (Buscando TRL óptimas para la Transferencias) y número de proyectos tecnológico (como un variado portafolio por parte de las universidades) constituye una abstracción válida de la dinámica real?

Sí: \_\_\_\_\_ No: \_\_\_\_\_

Si su respuesta fue **SI** por favor calificar:

Grado de validez del supuesto: 1: muy bajo 5: muy alto

1:	2:	3:	4:	5:
----	----	----	----	----

3. ¿El supuesto de que las universidades poseen un área de influencia territorial y que las empresas se desplazan en busca de proyectos refleja de manera adecuada la incidencia de la proximidad geográfica en la transferencia tecnológica universitaria?

Sí: \_\_\_\_\_ No: \_\_\_\_\_

Si su respuesta fue **SI** por favor calificar:

Grado de validez del supuesto: 1: muy bajo 5: muy alto

1:	2:	3:	4:	5:
----	----	----	----	----

4. ¿Resulta consistente con la práctica que las empresas manifiesten un mayor interés en proyectos de transferencia tecnológica a partir de niveles de madurez tecnológica  $TRL \geq 4$ ?

Sí: \_\_\_\_\_ No: \_\_\_\_\_

Si su respuesta fue **SI** por favor calificar:

Grado de validez del supuesto: 1: muy bajo 5: muy alto

1:	2:	3:	4:	5:
----	----	----	----	----

5. ¿Es realista que el avance de los proyectos en términos de TRL dependa de la inversión conjunta de universidades y empresas, y que a partir de  $TRL \geq 7$  se generen retornos económicos en forma de regalías o beneficios compartidos?

Sí: \_\_\_\_\_ No: \_\_\_\_\_

Si su respuesta fue **SI** por favor calificar:

Grado de validez del supuesto: 1: muy bajo 5: muy alto

1:	2:	3:	4:	5:
----	----	----	----	----

6. ¿La hipótesis de que los proyectos de transferencia tecnológica poseen un ciclo de vida finito de aproximadamente 15 años, asociado a procesos de obsolescencia tecnológica, representa adecuadamente la realidad?

Sí: \_\_\_\_\_ No: \_\_\_\_\_

Si su respuesta fue **SI** por favor calificar:

Grado de validez del supuesto: 1: muy bajo 5: muy alto

1:	2:	3:	4:	5:
----	----	----	----	----

7. ¿Considera pertinente que el modelo incluya como mecanismo de financiación de proyectos la asignación de recursos a través de convocatorias internas de las universidades?

Sí: \_\_\_\_\_ No: \_\_\_\_\_

Si su respuesta fue **SI** por favor calificar:

Grado de validez del supuesto: 1: muy bajo 5: muy alto

1:	2:	3:	4:	5:
----	----	----	----	----

8. ¿El supuesto de que las empresas incurren en costos de búsqueda y gestión de alianzas, y que su retiro del proceso puede ocurrir en ausencia de retornos suficientes, o falta de inversión para la gestión de la Transferencia, corresponde con los comportamientos observados en la práctica?

Sí: \_\_\_\_\_ No: \_\_\_\_\_

Si su respuesta fue **SI** por favor calificar:

Grado de validez del supuesto: 1: muy bajo 5: muy alto

1:	2:	3:	4:	5:
----	----	----	----	----

9. ¿Considera que el resultado emergente del modelo, según el cual la transferencia tecnológica universitaria es más exitosa cuando confluyen proyectos con niveles intermedios - altos de madurez tecnológica (TRL), número de proyectos significativos y colaboración efectiva universidad–empresa refleja de manera adecuada lo observado en la realidad?

Sí: \_\_\_\_\_ No: \_\_\_\_\_

Si su respuesta fue **SI** por favor calificar:

Grado de validez del supuesto: 1: muy bajo 5: muy alto

1:	2:	3:	4:	5:
----	----	----	----	----

10. ¿Considera que el modelo de simulación basada en agentes posee capacidad predictiva y permite realizar experimentaciones que contribuyan a analizar escenarios futuros y formular políticas de transferencia tecnológica universitaria más efectivas?

Sí: \_\_\_\_\_ No: \_\_\_\_\_

Si su respuesta fue **SI** por favor calificar:

Grado de validez del supuesto: 1: muy bajo 5: muy alto

1:	2:	3:	4:	5:
----	----	----	----	----

11. ¿Considera que el modelo de simulación basada en agentes puede ser útil como herramienta práctica para apoyar la toma de decisiones en procesos de transferencia tecnológica universitaria?

Sí: \_\_\_\_\_ No: \_\_\_\_\_

Si su respuesta fue **SI** por favor calificar:

Grado de validez del supuesto: 1: muy bajo 5: muy alto

1:	2:	3:	4:	5:
----	----	----	----	----

**Observaciones generales:**

---



---

**Muchas gracias por su apoyo.**