

LECTURAS DE ECONOMÍA

Versión preliminar

Competencia estratégica en I+D con universidades asimétricas un modelo de juegos tipo Tullock con evaluación institucional

Daniel Ricardo Torralba Barreto

El presente artículo ha sido aprobado para ser publicado en Lecturas de Economía 104. Sin embargo, se trata de una versión preliminar, la cual está sujeta a cambios asociados al proceso editorial de la revista. Próximamente se contará con una versión definitiva.

Competencia estratégica en I+D con universidades asimétricas un modelo de juegos tipo Tullock con evaluación institucional

Daniel Ricardo Torralba Barreto¹

Resumen

En este artículo se desarrolla un modelo teórico para analizar la interacción entre competencia y cooperación en concursos públicos de asignación de recursos para investigación y desarrollo (I+D), con énfasis en universidades con capacidades asimétricas. A través de una estructura tipo Tullock, se modela un juego estratégico en el que las universidades deciden cuánto esfuerzo realizar para aumentar su probabilidad de éxito y cuánto conocimiento transferir a su competidora. La evaluación del desempeño por parte del proponente institucional incluye no solo resultados individuales, sino también atributos como la cooperación y la experiencia previa. Los resultados del modelo muestran que la cooperación puede surgir endógenamente si es incentivada institucionalmente, y que la transferencia de conocimiento actúa como una externalidad estratégica que modifica los costos marginales del esfuerzo. Mediante simulaciones numéricas, se analizan los efectos de los incentivos explícitos, las asimetrías estructurales y las políticas de cooperación obligatoria sobre el equilibrio. Los resultados revelan estrategias para el diseño de políticas públicas que busquen equilibrar eficiencia, equidad y colaboración en sistemas de ciencia y tecnología.

Palabras clave: concursos tipo Tullock, transferencia de conocimiento, cooperación en competencia, evaluación institucional, asimetría de capacidades, políticas de ciencia e innovación, teoría de juegos.

Clasificación JEL: O31, C72, I23, D74, O38.

Competence in R&D Among Asymmetric Universities: An Approach from Game Theory

Abstract

This article develops a theoretical model to analyze the interaction between competitions and cooperation in public competitions for the allocation of research and development (R&D) resources, with an emphasis on universities with asymmetric capabilities. Using a Tullock-type framework, a strategic game is modeled in which universities decide how much effort to invest to increase their probability of success and how much knowledge to transfer to their competitor. The institutional proponent's evaluation of performance includes not only individual outcomes but also attributes such as cooperation and prior experience. The model shows that cooperation can emerge endogenously if it is institutionally incentivized, and that knowledge transfer acts as a strategic externality that modifies the marginal costs of effort. Through numerical simulations, the effects of explicit incentives, structural asymmetries, and mandatory cooperation policies on equilibrium are analyzed. The results reveal strategies for designing public policies that seek to balance efficiency, equity, and collaboration in science and technology systems.

¹ *Daniel Ricardo Torralba Barreto:* profesor de la Universidad del Rosario, coordinador del Centro de Estudios para la Competitividad Regional (SCORE), Bogotá, Colombia. Dirección electrónica: daniel.torralba@urosario.edu.co
<https://orcid.org/0000-0002-9834-1692>

Keywords: Tullock contests, knowledge transfer, coopetition, institutional evaluation, capability asymmetry, science and innovation policy, game theory.

Compétence en R&D entre universités asymétriques : Une approche de la théorie des jeux

Résumé : Les processus d'appel d'offres publics pour accéder au financement gouvernemental de la recherche en Colombie nécessitent des conditions préalables qui peuvent décourager la participation des universités avec moins d'expérience, d'infrastructure et de reconnaissance. Cette étude montre les effets causés par le degré d'asymétrie dans les capacités de recherche entre les universités, comprise comme la distribution inégale des intrants et des résultats dont dispose chaque institution. Il est constaté que la conception structurelle des processus d'appel d'offres pour la coopération entre universités génère des incitations différentielles dans l'effort que chaque université pourrait fournir. Dans ce contexte, lors de concours coopératifs, les universités ayant des niveaux similaires de recherche déploient leurs meilleurs efforts. Cependant, des asymétries croissantes dans les capacités de recherche des universités induisent des efforts moindres. Cet article contribue à la littérature depuis la perspective de l'analyse des incitations pour la conception de mécanismes de coopération et de transfert de connaissances dans les concours entre universités aux capacités de recherche hétérogènes.

Mots clés : concours de type Tullock, transfert de connaissances, coopération dans la concurrence, évaluation institutionnelle, asymétrie des capacités, politiques scientifiques et d'innovation, théorie des jeux.

<https://doi.org/10.17533/udea.le.n104a357462>

Cómo citar / How to cite this item: Torralba-Barreto, D. R. (2025). Competencia estratégica en I+D con universidades asimétricas un modelo de juegos tipo Tullock con evaluación institucional. *Lecturas de Economía*, (104). <https://doi.org/10.17533/udea.le.n104a357462>

Primera versión recibida el 13 de junio de 2024; versión final aceptada el 28 de julio de 2025

Introducción – I. Modelo. – II. Resultados del modelo. – III. Discusión e implicaciones de política pública. –Conclusiones. – Anexo. – Declaración de ética. – Referencias.

Introducción

La interacción entre instituciones académicas en los sistemas de investigación y desarrollo (I+D) combina elementos de competencia y cooperación. Diversos estudios han documentado que las universidades compiten entre sí por reconocimiento, visibilidad, talento académico y acceso a recursos escasos como infraestructura, capital humano altamente calificado o espacios en redes de colaboración (Cohen & Levinthal, 1990; Kobarg et al. 2018). Esta competencia se manifiesta a través de procesos de evaluación comparativa, rankings, acreditaciones y convocatorias de

proyectos, lo que introduce incentivos para maximizar el rendimiento institucional mediante decisiones estratégicas.

No obstante, esta lógica competitiva no excluye la posibilidad de que surjan comportamientos cooperativos. La literatura sobre innovación y dinámica del conocimiento ha mostrado que, incluso en entornos competitivos, las universidades pueden interactuar a través de acciones que benefician parcialmente a sus rivales, como compartir información, transferir conocimiento o facilitar acceso a capacidades técnicas (Canhoto et al. 2016; Kobarg et al. 2018). Estas formas de cooperación, que no requieren coordinación formal ni consorcios establecidos, se entienden como externalidades deliberadas: decisiones estratégicas que, aunque generan un costo propio, pueden alterar las condiciones del entorno o influir en la percepción de terceros.

Una de las razones fundamentales por las cuales este tipo de comportamientos cooperativos puede resultar racional es la existencia de evaluadores externos que asignan valor no solo al rendimiento individual, sino también a atributos institucionales como la trayectoria colectiva, la experiencia acumulada o la disposición a contribuir al ecosistema de conocimiento (Canhoto et al. 2016; Nishimura & Okamuro, 2016). En otras palabras, la función de evaluación que define el resultado de una competencia académica o científica puede estar sesgada normativamente: no solo mide desempeño técnico, sino también variables institucionales que reflejan compromiso sistémico.

Esta lógica ha sido ampliamente documentada en políticas públicas de ciencia y tecnología, así como en programas universitarios de fortalecimiento institucional, donde el comportamiento cooperativo mejora la valoración global del actor que lo adopta (Bae & Lee, 2020). En consecuencia, la cooperación puede convertirse en una herramienta estratégica: aunque implique fortalecer a un competidor en el corto plazo, puede mejorar la posición relativa del cooperante en la evaluación final. Este tipo de razonamiento transforma la cooperación en una decisión racional, sujeta a los incentivos estructurados por el entorno institucional.

Estas dinámicas han comenzado a ser formalizadas en la literatura económica. Los modelos tipo Tullock, por ejemplo, capturan la lógica de competencia por un premio, donde la probabilidad de éxito depende del esfuerzo relativo entre jugadores con diferentes niveles de eficiencia (Tullock, 1980). Por otra parte, trabajos sobre mecanismos de co-creación han mostrado que la cooperación también puede entenderse como una forma de construcción de valor institucional (Canhoto et al. 2016).

En esta línea, Baglieri et al. (2012) desarrollan un modelo de alianzas asimétricas en I+D que combina cooperación y competencia —coopetición—, lo que permite interpretar la interacción estratégica entre actores con capacidades desiguales. De modo complementario, Márquez et al. (2011) documentan cómo, en el contexto latinoamericano, las universidades enfrentan un entorno de cooperación fragmentada y competencia por incentivos, en el cual las capacidades institucionales condicionan la efectividad de los vínculos. Asimismo, Rodríguez y Vessuri, (2018) destacan que las redes académicas internacionales no son neutras y reproducen asimetrías estructurales que afectan las trayectorias de cooperación, especialmente en instituciones con menor visibilidad o con menor capacidad de absorción.

Sin embargo, pocos modelos integran ambas dimensiones: la competencia por rendimiento relativo y la cooperación unilateral orientada a influir en la evaluación externa. Aún más escasos son los enfoques que permiten a los actores decidir simultáneamente cuánto esfuerzo invertir en mejorar su propia posición y cuánto conocimiento transferir a su rival.

Este artículo propone un modelo teórico que establece, precisamente, esa interacción. Se considera un entorno en el que dos universidades, caracterizadas por diferentes niveles de capacidad instalada, compiten por posicionarse favorablemente ante un evaluador externo. Cada universidad puede decidir cuánto esfuerzo realizar para aumentar su rendimiento observable, pero también cuánto conocimiento transferir a su rival, sabiendo que dicha transferencia lo beneficia directamente, aunque puede ser percibida positivamente por el evaluador. El agente externo no es neutral: su evaluación considera tanto los resultados individuales como ciertos atributos institucionales, entre ellos, la disposición a cooperar o contribuir al entorno académico. Esta estructura genera un dilema estratégico: transferir conocimiento puede reducir la ventaja competitiva directa, pero incrementar el valor percibido ante el evaluador. La cooperación, en este contexto, no se basa en la coordinación mutua ni en contratos explícitos, sino en la lógica de señalización institucional.

A partir de este modelo se busca responder preguntas fundamentales: ¿en qué condiciones es racional que una universidad transfiera conocimiento a su competidora directa? ¿Cómo influyen las asimetrías de capacidad entre universidades en las decisiones estratégicas de cooperación y esfuerzo? ¿Qué tipos de funciones de evaluación institucional favorecen o inhiben la emergencia de comportamientos cooperativos? ¿Cuáles son las estrategias de política para diseñar reglas que estimulen la colaboración sin eliminar la competencia?

La contribución del modelo es doble. Por un lado, ofrece un marco formal para analizar equilibrios estratégicos entre instituciones autónomas que compiten por valoración externa. Por otro, proporciona herramientas conceptuales para diseñar políticas de ciencia e innovación que reconozcan no solo el mérito individual, sino también la capacidad de generar valor sistémico mediante formas no coordinadas de cooperación. Este enfoque permite representar entornos realistas donde las universidades no actúan ni como rivales puros ni como consorcios, sino como actores interdependientes que responden a señales normativas dentro de un campo institucional competitivo.

I. Modelo

La competencia por recursos públicos de investigación entre universidades no ocurre en condiciones de simetría. Las instituciones difieren en su capacidad instalada, su trayectoria académica y su inserción en redes de conocimiento. Estas diferencias estructurales se traducen en asimetrías en la capacidad de competir, que pueden limitar la participación efectiva de ciertas universidades en convocatorias públicas. A su vez, los marcos institucionales que regulan estas convocatorias suelen valorar múltiples dimensiones del oferente, incluyendo su desempeño previo, su potencial técnico y su disposición a colaborar.

En este contexto, resulta fundamental entender cómo interactúan tres elementos estratégicos: la capacidad de las universidades para competir, la posibilidad de cooperar entre ellas y el diseño del sistema de asignación del recurso. Este artículo propone un modelo teórico que establece estas interacciones, combinando un enfoque de concursos tipo Tullock con decisiones estratégicas de cooperación y con una función de evaluación institucional por parte del financiador. Para ello, el modelo parte de cinco ideas clave: primero, las universidades deciden al mismo tiempo y de manera racional cómo actuar; segundo, participar en estos procesos implica costos, tanto por el esfuerzo que requiere competir como por el hecho de compartir conocimiento; tercero, la asignación de los recursos no es completamente aleatoria, sino que depende de cuánto esfuerzo hacen las universidades y cómo son vistas por el financiador; cuarto, contar con una buena trayectoria y más capacidades permite competir con menos esfuerzo; y quinto, compartir conocimiento tiene un

costo, pero también puede mejorar el desempeño de otros y del sistema en su conjunto. Estos elementos serán explicados en detalle en las secciones siguientes, y permiten capturar la lógica estratégica que enfrentan las universidades en contextos competitivos.

El modelo se estructura como un juego estático de dos jugadores, donde cada universidad elige simultáneamente:

- Su nivel de esfuerzo competitivo para ganar un concurso público por recursos de I+D.
- Su nivel de transferencia de conocimiento hacia su rival, entendido como un comportamiento cooperativo que puede mejorar la eficiencia del otro actor, pero que también representa un costo directo.

La decisión de transferir conocimiento se introduce como una estrategia adicional al esfuerzo, lo que permite examinar las condiciones bajo las cuales la cooperación puede emerger endógenamente en un entorno competitivo. A diferencia de enfoques que asumen coordinación plena (consorcios) o separación estricta entre competir y cooperar, este modelo permite representar escenarios más realistas donde las universidades interactúan estratégicamente sin renunciar a su autonomía individual.

Un aspecto central del modelo es la presencia de un agente externo, denominado el proponente del concurso, quien define las reglas del juego y que no es neutral respecto a las características de los oferentes. El proponente valora atributos como la capacidad instalada, la experiencia previa o la voluntad de cooperar, y estas preferencias influyen directamente en la probabilidad de asignar el recurso. De este modo, el modelo incorpora una dimensión normativa que permite explorar cómo distintas políticas públicas, como incentivar la cooperación, ponderar la experiencia o redistribuir oportunidades, afectan los equilibrios estratégicos entre universidades asimétricas.

A. Universidades, capacidades y transferencia de conocimiento

Consideramos un entorno en el cual dos universidades, $i \in \{1,2\}$, compiten por la adjudicación de un único premio asociado a una convocatoria pública de fomento a la investigación. Cada universidad enfrenta una doble decisión estratégica: cuánto esfuerzo invertir para maximizar su probabilidad de ganar el concurso y cuánto conocimiento compartir con su contraparte.

Las universidades difieren en su capacidad instalada $k_i \in (0,1]$, que representa una medida sintética de recursos tangibles e intangibles disponibles para la producción de conocimiento. Este parámetro captura dimensiones como la infraestructura de laboratorios, la formación del cuerpo docente, la calidad de los programas académicos o la densidad de redes científicas. Una mayor capacidad implica que la universidad puede transformar esfuerzo en resultados de manera más eficiente, lo que se traduce en menores costos marginales de participación.

Además, cada universidad posee un nivel de experiencia acumulada $\text{Exp}_i \geq 0$, entendida como el conocimiento organizacional derivado de la participación pasada en convocatorias similares. La experiencia actúa como un activo reputacional y operativo: permite reducir la incertidumbre en la formulación de propuestas, anticipar criterios de evaluación y acceder con mayor facilidad a redes de colaboración y fuentes de financiación complementarias.

Un elemento distintivo de este modelo es la inclusión de la transferencia horizontal de conocimiento como una decisión estratégica. La variable $\beta_i \in [0,1]$ denota el nivel de conocimiento que la universidad i decide transferir voluntariamente a la universidad j . Esta

transferencia puede tomar la forma de asesoría técnica, apertura de resultados previos, colaboración metodológica o cesión de buenas prácticas organizativas. A diferencia de modelos con estructura jerárquica o vertical, aquí se asume que cualquier universidad puede beneficiarse del conocimiento compartido, independientemente de su posición relativa.

La transferencia de conocimiento es costosa. Compartir capacidades implica recursos humanos, tiempo, coordinación e incluso posibles riesgos estratégicos. Por esta razón, cada universidad internaliza un costo cuadrático creciente asociado a su decisión de transferencia. No obstante, al mismo tiempo, el conocimiento recibido por una universidad reduce su propio costo de esfuerzo, al permitirle aprender nuevas formas de producir o gestionar proyectos con mayor eficiencia.

Además, el modelo introduce una capacidad efectiva \tilde{k}_i que depende tanto de la capacidad propia como de la transferencia recibida:

$$\tilde{k}_i = k_i + \lambda \cdot \beta_j, (1)$$

donde $\lambda > 0$ representa el grado de absorción del conocimiento externo. Este parámetro recoge la idea, inspirada en (Cohen & Levinthal, 1990), de que las organizaciones requieren cierto nivel de conocimiento previo para internalizar eficientemente nuevo conocimiento externo.

Cabe señalar que, en este marco, la transferencia de conocimiento se produce en ausencia de coordinación directa. Las universidades no forman un consorcio ni diseñan una propuesta conjunta: cada una actúa de forma independiente, pero puede decidir contribuir al fortalecimiento del ecosistema científico compartido. De esta manera, el modelo permite capturar escenarios intermedios entre la competencia pura y la cooperación total, acercándose a la realidad institucional de múltiples sistemas nacionales de ciencia.

Esta formalización abre la puerta a analizar cómo las capacidades propias, la disposición a cooperar y la posibilidad de absorber conocimiento se combinan para determinar los niveles de esfuerzo, las estrategias óptimas de cooperación y los resultados agregados del sistema.

B. Preferencias del proponente y probabilidad de éxito

En los concursos públicos por recursos de I+D, el proceso de adjudicación no depende exclusivamente del esfuerzo desplegado por los participantes. Las entidades que diseñan y ejecutan estas convocatorias (proponente) suelen establecer criterios de evaluación que reflejan preferencias institucionales, estratégicas o normativas. Estas preferencias pueden orientarse, por ejemplo, a priorizar capacidades técnicas, fomentar la cooperación entre actores, o reconocer trayectorias previas exitosas.

Para capturar esta dimensión normativa del proceso de asignación, se introduce una función de evaluación institucional que pondera tres atributos observables de cada universidad: su capacidad instalada k_i , su comportamiento cooperativo β_i , y su experiencia acumulada Exp_i . Estas dimensiones son combinadas mediante un vector de ponderadores $\vec{w} = (w_1, w_2, w_3) \in \mathbb{R}_+^3$, que representa el peso relativo que el proponente asigna a cada criterio. De esta forma, la valoración total que el proponente hace de la universidad i se define como:

$$\Phi_i = w_1 \cdot k_i + w_2 \cdot \beta_i + w_3 \cdot \text{Exp}_i. (2)$$

Esta función puede interpretarse como un índice de mérito institucional, construido con base en lineamientos explícitos del proponente (por ejemplo, puntajes técnicos en convocatorias de Minciencias o criterios de evaluación regional en fondos de inversión pública). La inclusión de la variable β_i permite que el sistema recompense conductas cooperativas, incluso si estas no mejoran directamente la capacidad técnica o la experiencia del actor.

La decisión del proponente no es determinista, sino que responde a una lógica de concurso tipo Tullock, en la cual cada universidad compite por un premio indivisible y la probabilidad de adjudicación es proporcional al producto entre su esfuerzo e_i y su valoración institucional Φ_i . En consecuencia, la probabilidad de éxito de la universidad i está dada por:

$$Y_i = \frac{e_i \cdot \Phi_i}{e_i \cdot \Phi_i + e_j \cdot \Phi_j}. \quad (3)$$

Esta especificación implica que el esfuerzo generado por una universidad es más o menos efectivo en función de cómo es percibida por el proponente. A igualdad de esfuerzo, la universidad con mayor ponderación institucional tendrá una mayor probabilidad de éxito. Del mismo modo, una universidad con menor capacidad o experiencia puede incrementar su probabilidad de éxito mediante mayores niveles de esfuerzo, o a través de conductas cooperativas si estas son valoradas institucionalmente.

La formulación de Y_i permite capturar un rasgo esencial de los sistemas de asignación real: el resultado de la competencia no depende exclusivamente de la acción individual, sino también de cómo dicha acción es canalizada y amplificada por el marco institucional del concurso. Así, el modelo ofrece una herramienta analítica para examinar cómo distintas configuraciones de ponderadores afectan el equilibrio entre competencia y cooperación, y cómo estas decisiones influyen en la distribución del esfuerzo y del beneficio esperado entre universidades asimétricas.

C. Función objetivo y estructura de costos

Cada universidad enfrenta una decisión estratégica en dos dimensiones: cuánto esfuerzo realizar para aumentar su probabilidad de éxito en el concurso, y cuánto conocimiento compartir con su contraparte. Ambas decisiones implican costos marginales crecientes y generan efectos cruzados: mientras que el esfuerzo mejora directamente las probabilidades de éxito, la transferencia de conocimiento actúa de manera indirecta, al modificar la eficiencia productiva del rival y al incidir sobre la percepción institucional del proponente.

Se asume que el esfuerzo tiene un costo cuadrático inversamente proporcional a la capacidad efectiva de la universidad. Este supuesto refleja que las universidades con mayor capacidad instalada y mayor absorción de conocimiento pueden transformar esfuerzo en producción con menor costo marginal. En consecuencia, el costo de esfuerzo para la universidad i es:

$$C_i^e = \frac{e_i^2}{\bar{k}_i} = \frac{e_i^2}{k_i + \lambda \cdot \beta_j}, \quad (4)$$

donde $\lambda > 0$ representa la eficiencia con la que la universidad absorbe el conocimiento transferido por su rival. Este término refleja un proceso de aprendizaje organizacional incremental, donde el conocimiento recibido permite a la institución reducir los costos de producción científica.

Adicionalmente, la transferencia de conocimiento hacia el rival implica un costo directo para quien la realiza. Compartir capacidades organizativas, metodologías o experiencias requiere tiempo,

recursos humanos, coordinación y gestión del riesgo reputacional. Se modela este costo mediante una función cuadrática estrictamente convexa:

$$C_i^\beta = \tau \cdot \beta_i^2, \quad (5)$$

donde $\tau > 0$ es un parámetro que mide el costo marginal de transferir conocimiento. Esta especificación implica que los niveles altos de cooperación son más costosos y, por tanto, requieren mayor justificación estratégica o institucional.

Por último, se introduce un incentivo externo explícito $R \geq 0$, entendido como una compensación otorgada por el proponente a las universidades que manifiestan comportamientos cooperativos. Este incentivo puede adoptar múltiples formas: bonificaciones en el puntaje técnico, criterios de desempate a favor, condiciones preferentes de acceso o puntuación adicional en alianzas regionales. En términos analíticos, el beneficio por cooperación se modela como un ingreso lineal en la transferencia realizada:

$$I_i = R \cdot \beta_i. \quad (6)$$

Así, la función objetivo de la universidad i se expresa como:

$$\pi_i = A \cdot Y_i - \frac{e_i^2}{k_i + \lambda \cdot \beta_j} - \tau \cdot \beta_i^2 + R \cdot \beta_i, \quad (7)$$

donde:

- $A \cdot Y_i$: beneficio esperado por ganar el concurso,
- $\frac{e_i^2}{k_i + \lambda \cdot \beta_j}$: costo del esfuerzo, decreciente en la capacidad efectiva,
- $\tau \cdot \beta_i^2$: costo de la cooperación,
- $R \cdot \beta_i$: incentivo externo por compartir conocimiento.

Esta función presenta una estructura de interdependencia estratégica entre las universidades. Las decisiones de cada jugador afectan tanto sus propios costos y beneficios como las condiciones de eficiencia y probabilidad de éxito del rival. La transferencia de conocimiento es un ejemplo de externalidad positiva: beneficia a la otra universidad, pero tiene un costo privado. Su provisión en equilibrio dependerá, por tanto, del diseño institucional que defina el proponente. La siguiente sección caracteriza formalmente las condiciones de equilibrio del juego y analiza cómo estas dependen de las capacidades relativas, los incentivos externos y las preferencias institucionales.

D. Decisión estratégica y condiciones de equilibrio

Cada universidad elige simultáneamente su nivel de esfuerzo competitivo $e_i \in [0,1]$ y su nivel de transferencia de conocimiento $\beta_i \in [0,1]$, con el objetivo de maximizar su beneficio esperado π_i , dado el comportamiento anticipado de su rival. Se asume que ambas universidades son racionales, simétricamente informadas, y que resuelven su problema de optimización en forma no cooperativa, bajo una estructura de juego estático de información completa.

El equilibrio del juego corresponde a un par de estrategias puras (e_i^*, β_i^*) y (e_j^*, β_j^*) , tales que ninguna universidad tiene incentivos a desviarse unilateralmente. En este contexto, el equilibrio se caracteriza mediante el sistema de condiciones de primer orden (FOC), derivadas de la maximización del beneficio esperado de cada jugador con respecto a sus propias decisiones estratégicas.

La función objetivo de la universidad i , tal como fue presentada en la sección anterior, es:

$$\pi_i = A \cdot Y_i - \frac{e_i^2}{k_i + \lambda \cdot \beta_j} - \tau \cdot \beta_i^2 + R \cdot \beta_i, \quad (8)$$

donde la probabilidad de éxito está dada por:

$$Y_i = \frac{e_i \cdot \Phi_i}{e_i \cdot \Phi_i + e_j \cdot \Phi_j}, \quad \text{con} \quad \Phi_i = w_1 \cdot k_i + w_2 \cdot \beta_i + w_3 \cdot \text{Exp}_i. \quad (9)$$

Dado que el beneficio esperado depende de las decisiones del rival, el modelo incorpora interdependencia estratégica tanto en la competencia por el premio como en la provisión de externalidades vía transferencia de conocimiento.

E. Esfuerzo

La condición de primer orden respecto al esfuerzo e_i se obtiene derivando π_i con respecto a e_i , considerando que Y_i depende directamente de e_i . La derivada se expresa como:

$$\frac{\partial \pi_i}{\partial e_i} = A \cdot \frac{\Phi_i \cdot e_j \cdot \Phi_j}{(e_i \cdot \Phi_i + e_j \cdot \Phi_j)^2} - \frac{2e_i}{k_i + \lambda \cdot \beta_j} = 0. \quad (10)$$

Esta expresión iguala el beneficio marginal esperado de esfuerzo, ponderado por la valoración institucional del proponente, con el costo marginal ajustado por capacidad efectiva. El esfuerzo óptimo es creciente en la valoración institucional Φ_i y en la transferencia recibida β_j , y decreciente en el esfuerzo del rival e_j .

F. Transferencia de conocimiento

La condición de primer orden respecto a la transferencia β_i incorpora tres efectos: el efecto positivo sobre la valoración institucional (Φ_i), el costo directo de compartir conocimiento y el incentivo externo otorgado por el proponente. La derivada se expresa como:

$$\frac{\partial \pi_i}{\partial \beta_i} = A \cdot \frac{e_i \cdot w_2 \cdot e_j \cdot \Phi_j}{(e_i \cdot \Phi_i + e_j \cdot \Phi_j)^2} - 2\tau \cdot \beta_i + R = 0. \quad (11)$$

El primer término representa el beneficio marginal indirecto de cooperar, derivado del aumento en la probabilidad de éxito vía la valoración institucional. El segundo término refleja el costo marginal creciente de transferencia, mientras que el tercer término recoge el incentivo explícito que el sistema otorga a los comportamientos cooperativos.

La existencia de una transferencia positiva en equilibrio depende, por tanto, de la interacción entre los parámetros w_2 , R y τ . En ausencia de incentivos (esto es, si $w_2 = R = 0$), la transferencia de conocimiento es estrictamente subóptima en equilibrio: la cooperación no se genera espontáneamente, incluso si genera beneficios sistémicos.

G. Equilibrio estratégico

El equilibrio de Nash se define como el conjunto de estrategias (e_i^*, β_i^*) y (e_j^*, β_j^*) que satisfacen simultáneamente ambas condiciones de primer orden para cada jugador. Debido a la interdependencia no lineal entre las estrategias y a la presencia de términos cuadráticos y fracciones racionales, el sistema no admite, en general, una solución analítica cerrada. Sin embargo, su estructura permite realizar simulaciones numéricas para explorar las propiedades del equilibrio bajo diferentes configuraciones institucionales y niveles de asimetría entre los jugadores.

II. Resultados del modelo

En esta sección se analizan las propiedades del equilibrio derivado en el modelo, con el objetivo de identificar cómo las capacidades relativas, los incentivos institucionales y las decisiones estratégicas influyen sobre los niveles de esfuerzo, cooperación y beneficio esperado. Se presenta una serie de proposiciones que caracterizan los efectos comparativos más relevantes, tanto desde el punto de vista teórico como normativo.

A. Asimetrías de capacidad y esfuerzo estratégico

Uno de los objetivos centrales del modelo es entender cómo las diferencias estructurales entre universidades afectan su comportamiento estratégico en contextos competitivos. En este sentido, el parámetro k_i representa una medida general de la capacidad instalada de producción de conocimiento: universidades con mayor k_i poseen una base más sólida de infraestructura científica, capital humano y experiencia organizacional, lo que les permite movilizar recursos con mayor eficiencia en contextos de competencia por fondos.

La siguiente proposición establece que, a igualdad de condiciones, las universidades con mayor capacidad instalada tienden a desplegar niveles de esfuerzo más altos en el equilibrio.

Proposición

El esfuerzo óptimo e_i^* es estrictamente creciente en la capacidad instalada k_i .

Demostración

La condición de primer orden respecto al esfuerzo está dada por:

$$\frac{\partial \pi_i}{\partial e_i} = A \cdot \frac{\Phi_i \cdot e_j \cdot \Phi_j}{(e_i \cdot \Phi_i + e_j \cdot \Phi_j)^2} - \frac{2e_i}{k_i + \lambda \cdot \beta_j} = 0, \quad (12)$$

lo cual implica que el esfuerzo óptimo se determina igualando el beneficio marginal esperado del esfuerzo con su costo marginal ajustado por la capacidad efectiva. Nótese que este costo marginal es decreciente en k_i , ya que la capacidad instalada actúa como un factor multiplicador de eficiencia. Si k_i aumenta, el denominador del segundo término crece, reduciendo el costo marginal del esfuerzo. Para restablecer el equilibrio entre costos y beneficios, el numerador debe aumentar, lo cual ocurre con un mayor nivel de esfuerzo e_i . Por tanto, el esfuerzo óptimo es estrictamente creciente en k_i .

Universidades con mayores dotaciones de recursos tienden a participar más activamente en convocatorias públicas, no solo porque su probabilidad de éxito es mayor, sino porque pueden permitirse un esfuerzo estratégico más alto sin incurrir en costos desproporcionados. En cambio, instituciones con menores capacidades enfrentan mayores restricciones: el mismo nivel de esfuerzo

representa para ellas un costo relativamente más alto, lo cual puede desincentivar su participación o limitar la calidad de sus propuestas.

Además, el resultado permite reinterpretar el esfuerzo no solo como una variable estratégica, sino también como un canal de reproducción de las asimetrías existentes. Dado que el esfuerzo estratégico incrementa la probabilidad de adjudicación del recurso, y que las universidades más fuertes pueden invertir más esfuerzo a menor costo, el sistema competitivo tiende a generar una retroalimentación positiva a favor de los actores ya consolidados, a menos que se introduzcan mecanismos correctivos.

Finalmente, el esfuerzo estratégico resalta que cualquier política diseñada para incentivar la participación de universidades con menores capacidades, ya sea a través de incentivos diferenciados, bonificaciones por cooperación o ponderadores institucionales, debe reconocer que sus restricciones no son únicamente de tipo presupuestal, sino también estratégicas y estructurales. En este sentido, el fortalecimiento de su capacidad efectiva puede convertirse en una vía clave para movilizar un mayor esfuerzo institucional y cerrar las brechas en términos de participación competitiva.

B. Cooperación como insumo estratégico indirecto

Una de las contribuciones centrales del modelo es la formalización de la transferencia de conocimiento entre universidades como una estrategia de cooperación horizontal en contextos competitivos. A diferencia de modelos clásicos en los que la cooperación es formal y coordinada, aquí la cooperación emerge como una decisión estratégica autónoma, que puede beneficiar al rival, pero también tener retornos indirectos para quien coopera, en función de cómo está diseñado el sistema de incentivos del concurso.

En este contexto, la transferencia de conocimiento β_j realizada por la universidad j aumenta la capacidad efectiva de la universidad i , al mejorar su eficiencia en la conversión de esfuerzo en producción de resultados. Esta idea se formaliza mediante la función:

$$\tilde{k}_i = k_i + \lambda \cdot \beta_j, \quad (13)$$

donde $\lambda > 0$ representa la eficiencia de absorción del conocimiento transferido.

Proposición

El esfuerzo óptimo e_i^* es estrictamente creciente en la transferencia de conocimiento recibida β_j .

Demostración

Como en la proposición anterior, la condición de primer orden respecto al esfuerzo es:

$$\frac{\partial \pi_i}{\partial e_i} = A \cdot \frac{\Phi_i \cdot e_j \cdot \Phi_j}{(e_i \cdot \Phi_i + e_j \cdot \Phi_j)^2} - \frac{2e_i}{k_i + \lambda \cdot \beta_j} = 0. \quad (14)$$

El término $\frac{2e_i}{k_i + \lambda \cdot \beta_j}$ representa el costo marginal del esfuerzo, que es decreciente en β_j . Un mayor valor de β_j reduce este costo, incentivando una mayor inversión de esfuerzo e_i para restablecer el equilibrio marginal. Por tanto, el esfuerzo óptimo es estrictamente creciente en la transferencia recibida.

Desde una perspectiva económica, este resultado evidencia que el conocimiento compartido actúa como un insumo estratégico de producción indirecto, al modificar la pendiente de la curva de costos de la universidad receptora. Si bien la transferencia de conocimiento no impacta directamente la probabilidad de ganar el concurso, sí mejora las condiciones en que dicho esfuerzo puede desplegarse, generando un efecto positivo en el beneficio esperado.

En ausencia de un marco de incentivos explícitos, las universidades no tienen incentivos a compartir conocimiento de forma unilateral, dado que el acto de transferir implica un costo privado y genera una externalidad positiva para el competidor. Sin embargo, desde el punto de vista sistémico, la cooperación genera un efecto multiplicador sobre el esfuerzo agregado, lo cual puede contribuir a mejorar la calidad técnica de las propuestas, aumentar la participación de actores menos consolidados y fortalecer las capacidades de los territorios.

Además, este resultado permite justificar el uso de instrumentos de política pública orientados a fomentar el aprendizaje horizontal en sistemas de ciencia e innovación, como bonificaciones por alianzas con instituciones emergentes, requisitos de vinculación territorial o esquemas de mentoría interinstitucional. Estos instrumentos pueden ser entendidos como mecanismos para internalizar las externalidades positivas asociadas a la cooperación voluntaria en entornos competitivos.

C. Transferencia de conocimiento en equilibrio

Una de las preguntas claves que plantea el modelo es: ¿en qué condiciones las universidades estarán dispuestas a transferir conocimiento de manera voluntaria en un entorno competitivo?

A diferencia de la literatura sobre cooperación, donde los actores coordinan sus decisiones a través de mecanismos contractuales, en este modelo la transferencia de conocimiento es una acción unilateral, costosa y no coordinada, cuya provisión depende de los incentivos institucionales y del diseño del concurso.

En equilibrio, la universidad i compara el beneficio marginal de cooperar con el costo marginal asociado a la transferencia. El beneficio puede surgir por dos canales: uno, a través del incentivo externo R que premia directamente la cooperación, u otro por medio de un aumento en su valoración institucional Φ_i , si el proponente valora la cooperación ($w_2 > 0$). La condición de primer orden respecto a β_i refleja esta comparación:

$$\frac{\partial \pi_i}{\partial \beta_i} = A \cdot \frac{e_i \cdot w_2 \cdot e_j \cdot \Phi_j}{(e_i \cdot \Phi_i + e_j \cdot \Phi_j)^2} - 2\tau \cdot \beta_i + R = 0. \quad (15)$$

En esta expresión, el primer término representa el beneficio marginal institucional que surge cuando la transferencia mejora la posición de la universidad en la evaluación del proponente. El segundo término es el costo marginal creciente de cooperar, y el tercero corresponde al incentivo explícito otorgado por el sistema.

Proposición

La transferencia óptima β_i^* es estrictamente positiva si y solo si $w_2 > 0$ o $R > 0$.

Demostración

Si $w_2 = R = 0$, la derivada de π_i respecto a β_i se reduce a:

$$\frac{\partial \pi_i}{\partial \beta_i} = -2\tau \cdot \beta_i. \quad (16)$$

Esta derivada es estrictamente negativa para todo $\beta_i > 0$, dado que el único término positivo desaparece y permanece únicamente el costo marginal creciente. Por tanto, el máximo se alcanza necesariamente en $\beta_i^* = 0$.

En contraste, si al menos uno de los parámetros w_2 o R es positivo, existe un valor interior $\beta_i^* > 0$ que iguala beneficio y costo marginal, haciendo la cooperación óptima positiva en equilibrio.

Este resultado confirma que, en contextos competitivos, la cooperación voluntaria no surge de forma espontánea, incluso cuando genera beneficios agregados para el sistema. Desde la lógica del equilibrio individual, compartir conocimiento implica una externalidad positiva que favorece al rival, pero no necesariamente a quien la emite. En ausencia de mecanismos correctivos, ya sean de tipo institucional como ponderadores, o contractuales como incentivos explícitos, la cooperación resulta una estrategia estrictamente dominada frente al comportamiento competitivo.

Además, la proposición introduce un argumento central para la formulación de políticas públicas en sistemas de innovación: el fomento de la cooperación requiere diseño institucional deliberado. Las reglas de evaluación de las convocatorias, las ponderaciones asignadas a los atributos del oferente y los incentivos explícitos por comportamiento colaborativo son herramientas clave para activar mecanismos cooperativos compatibles con la racionalidad individual.

De forma complementaria, la existencia de cooperación en equilibrio puede ser vista como una señal de sofisticación institucional: un sistema que logra coordinar a sus actores en torno a un objetivo común sin necesidad de imponer reglas centralizadas o alianzas forzadas. No obstante, esta coordinación requiere que las instituciones diseñen cuidadosamente las condiciones bajo las cuales compartir conocimiento no solo sea beneficioso para el sistema, sino también racional para cada universidad.

D. Efecto del diseño institucional sobre la cooperación

En entornos competitivos, los comportamientos cooperativos no se explican únicamente por las características de los agentes, sino principalmente por el diseño institucional que define el marco de incentivos. En el modelo propuesto, este rol lo cumple el *proponente*, entendido como el actor que estructura la convocatoria, define los criterios de evaluación y establece los incentivos para la participación. Su función es doble: asignar los recursos disponibles y moldear los comportamientos estratégicos de los oferentes mediante las reglas del juego.

En particular, la función de valoración institucional:

$$\Phi_i = w_1 \cdot k_i + w_2 \cdot \beta_i + w_3 \cdot \text{Exp}_i, \quad (17)$$

permite capturar cómo distintas configuraciones normativas afectan el equilibrio. Si el proponente otorga peso a la cooperación ($w_2 > 0$), el comportamiento colaborativo se convierte en un insumo que aumenta la probabilidad de éxito, aun en ausencia de un incentivo monetario directo. Esta dimensión institucional permite al sistema internalizar parcialmente la externalidad positiva generada por la transferencia de conocimiento.

Proposición

Un aumento en el peso institucional w_2 asignado a la cooperación incrementa la transferencia óptima β_i^* , incluso si $R = 0$.

Demostración

La condición de primer orden respecto a β_i contiene el término:

$$A \cdot \frac{e_i \cdot w_2 \cdot e_j \cdot \Phi_j}{(e_i \cdot \Phi_i + e_j \cdot \Phi_j)^2}, \quad (18)$$

que es creciente en w_2 . Aumentar este parámetro eleva el beneficio marginal de la transferencia sin modificar su costo marginal. Por tanto, para mantener la igualdad de primer orden, la universidad incrementa su nivel óptimo de cooperación.

Este resultado ofrece una interpretación normativa clara: los instrumentos de evaluación institucional pueden funcionar como incentivos implícitos, capaces de inducir comportamientos deseables sin necesidad de subsidios explícitos. Desde esta perspectiva, el diseño del vector \vec{w} se convierte en una herramienta de política tan poderosa como la asignación directa de recursos.

El valor de w_2 puede ser interpretado como una señal pública del compromiso del proponente con la construcción de redes, la colaboración territorial o la inclusión de actores emergentes. Cuando esta señal es creíble y significativa, las universidades adaptan racionalmente su comportamiento, incorporando la cooperación como parte de su estrategia de competencia.

No obstante, la efectividad de este mecanismo depende de dos condiciones clave. Primero, que el comportamiento cooperativo sea observable y evaluable por parte del proponente, para que su inclusión en Φ_i tenga impacto real en la probabilidad de éxito. Segundo, que la magnitud del peso w_2 sea suficientemente alta como para compensar los costos marginales de transferir conocimiento.

Desde un punto de vista institucional, esta proposición sugiere que las reglas de evaluación no son neutras: moldean los incentivos, inducen trayectorias estratégicas y determinan la estructura de cooperación del sistema. Ajustes en los criterios de ponderación pueden alterar de forma significativa los equilibrios alcanzados, afectando no sólo la eficiencia agregada, sino también la equidad y diversidad de los resultados.

E. Simulación de equilibrios

Dado el carácter no lineal del modelo y la presencia de múltiples interdependencias estratégicas entre los agentes, el sistema de condiciones de primer orden derivado en el apartado *Equilibrio estratégico* de la sección I no admite, en general, una solución analítica cerrada. Por esta razón, en esta sección se recurre a simulaciones numéricas para ilustrar las propiedades del equilibrio y evaluar los efectos comparativos de los parámetros clave sobre las decisiones estratégicas de las universidades.

El objetivo es visualizar cómo varían el esfuerzo óptimo, el nivel de cooperación y el beneficio esperado en función de diferentes configuraciones institucionales, en particular:

- el nivel del incentivo externo R ,
- la existencia de asimetrías entre universidades,
- y la implementación de políticas públicas que obligan o premian la cooperación.

Para asegurar que las decisiones estratégicas no estén determinadas únicamente por el tamaño absoluto del premio, se introduce una normalización que expresa el beneficio esperado como una fracción relativa del premio institucional de referencia. Específicamente, el término $A \cdot Y_i$ se

sustituye por $\frac{A}{\bar{A}} \cdot Y_i$, donde \bar{A} representa una unidad de escala que permite comparar entornos de baja, media o alta asignación. Esto evita que comportamientos extremos, como el esfuerzo total o la cooperación plena, surjan como resultado artificial del tamaño del incentivo, y permite que el equilibrio refleje de manera más fiel los retornos marginales percibidos por los agentes.

Las simulaciones se realizan sobre un conjunto de parámetros base que reflejan una situación plausible en contextos reales de competencia entre universidades heterogéneas. En todos los ejercicios, se utiliza un valor de referencia para el premio institucional de $\bar{A} = 10,000$. El valor nominal del incentivo A puede variar, pero su efecto está contenido a través de la escala relativa $\frac{A}{\bar{A}}$. Además, se asume un costo marginal de transferencia $\tau = 10$, y una eficiencia de absorción del conocimiento $\lambda = 1$. A menos que se indique lo contrario, el esfuerzo del rival e_j y su nivel de transferencia β_j se mantienen constantes para focalizar el análisis en el comportamiento de la universidad i .

F. Efecto del incentivo externo sobre el esfuerzo y la cooperación

Esta sección analiza cómo varían las decisiones estratégicas de una universidad cuando el sistema institucional introduce un incentivo explícito a la cooperación. En términos del modelo, dicho incentivo está representado por el parámetro R , que actúa como una recompensa adicional, sea monetaria, reputacional o institucional, otorgada a las universidades que comparten conocimiento con sus pares.

Para aislar el efecto de R , se considera un entorno simétrico en el que ambas universidades poseen la misma capacidad instalada ($k_i = k_j = 0,5$) y el mismo nivel de experiencia previa ($\text{Exp}_i = \text{Exp}_j = 0,4$). Asimismo, se mantienen constantes el esfuerzo y la cooperación del rival, lo que permite focalizar el análisis en la respuesta estratégica de la universidad i . La simulación numérica se realiza para distintos valores de R , mientras que el premio institucional se mantiene constante y normalizado.

Los resultados muestran una relación directa y proporcional entre el incentivo R y el nivel de cooperación β_i . En ausencia de ponderación institucional por cooperación ($w_2 = 0$), la condición de primer orden respecto a β_i se reduce a:

$$\beta_i^* = \frac{R}{2\tau}, \quad (19)$$

lo que implica que cada unidad adicional de incentivo genera un incremento lineal en el nivel óptimo de transferencia de conocimiento. Esta relación es consistente con la forma cuadrática del costo de cooperación y con la racionalidad estratégica del agente: solo si el beneficio marginal iguala o supera el costo marginal, la cooperación resulta rentable.

Más interesante aún es el efecto indirecto de R sobre el esfuerzo competitivo e_i . A medida que el incentivo induce una mayor cooperación, se incrementa el valor de Φ_i , lo que mejora la probabilidad de éxito Y_i y, en consecuencia, aumenta el retorno esperado del esfuerzo. Además, si el rival coopera (aunque se mantenga constante), la universidad recibe conocimiento, aumentando su capacidad efectiva $\tilde{k}_i = k_i + \lambda \cdot \beta_j$, lo que reduce el costo marginal de esforzarse. Estos mecanismos refuerzan la decisión de participar activamente en la competencia, generando un aumento en el esfuerzo óptimo incluso sin modificar directamente el retorno esperado del premio.

El beneficio neto π_i también crece con R , aunque lo hace a una tasa decreciente. Esta dinámica refleja un fenómeno de rendimientos marginales decrecientes: si bien el incentivo eleva tanto la cooperación como el esfuerzo, el costo de mantener niveles crecientes de ambos también se incrementa. La utilidad esperada, por tanto, presenta una pendiente positiva pero aplanada en torno a valores altos de R , lo que sugiere la existencia de un umbral de eficiencia más allá del cual seguir aumentando el incentivo genera beneficios marginales cada vez menores.

Desde una perspectiva normativa, este ejercicio sugiere que los incentivos explícitos son un instrumento efectivo para inducir cooperación voluntaria en entornos competitivos, sin necesidad de recurrir a otros mecanismos. La normalización del premio cumple aquí una función clave: permite que el comportamiento estratégico surja de retornos marginales percibidos, y no de la magnitud absoluta del recurso en disputa. De este modo, el incentivo R actúa como un modulador institucional que alinea la racionalidad individual con los objetivos colectivos del sistema.

No obstante, los rendimientos decrecientes observados en la utilidad neta advierten sobre la necesidad de calibrar cuidadosamente el nivel de incentivo. Una política de fomento a la cooperación debe equilibrar eficacia y eficiencia fiscal, considerando tanto la capacidad de respuesta de los agentes como el costo público de inducir comportamientos deseados.

G. Efecto de la asimetría de capacidades sobre el equilibrio

Una de las principales motivaciones de este modelo es comprender cómo las diferencias estructurales entre universidades condicionan sus decisiones estratégicas en contextos de competencia regulada. Mientras que el ejercicio anterior se construyó sobre un supuesto de simetría entre los jugadores, esta sección introduce una asimetría en las dotaciones de base con el fin de observar cómo las desigualdades estructurales afectan el equilibrio en términos de esfuerzo, cooperación y beneficio esperado, aun bajo reglas institucionales iguales.

Para ello, se mantiene constante la estructura del modelo y la escala del premio normalizada ($A = \bar{A} = 10,000$), lo que permite asegurar que las diferencias en el comportamiento estratégico se deban exclusivamente a las características propias de los agentes y no al tamaño absoluto del incentivo. En particular, se asigna a la universidad i una capacidad instalada menor ($k_i = 0,2$) y un nivel de experiencia reducido ($\text{Exp}_i = 0,2$), mientras que su contraparte mantiene valores más altos ($k_j = 0,6$, $\text{Exp}_j = 0,5$). Esta configuración refleja una situación común en sistemas nacionales de educación superior, en los que instituciones emergentes o regionales compiten con universidades consolidadas por los mismos recursos, en condiciones formales de igualdad, pero con restricciones estructurales diferenciadas.

Los resultados muestran con claridad el impacto de esta asimetría. En primer lugar, el esfuerzo desplegado por la universidad con menor capacidad es significativamente inferior al de su rival. Esta diferencia no responde a un desincentivo institucional, sino al hecho de que su capacidad efectiva $\tilde{k}_i = k_i + \lambda \cdot \beta_j$ es menor, lo que incrementa el costo marginal del esfuerzo. Como se demostró en la sección anterior, el esfuerzo óptimo es creciente en \tilde{k}_i , por lo que las universidades menos dotadas tienen menores incentivos racionales a participar activamente, e incluso podrían abstenerse de competir si el retorno marginal del esfuerzo no justifica el costo.

En segundo lugar, el nivel de cooperación β_i no presenta cambios sustanciales respecto al caso simétrico, ya que el incentivo externo R , el costo τ , y la valoración institucional del proponente se

mantienen constantes. No obstante, el efecto de esta cooperación sobre el desempeño es limitado: debido a su baja capacidad inicial, la universidad con menor dotación no logra transformar la cooperación en una mejora significativa de su esfuerzo ni de su utilidad neta. Esto refleja una limitación estructural: aun si la cooperación es simétrica, sus efectos no lo son.

El beneficio esperado π_i también refleja esta desigualdad. Aunque el esquema institucional es formalmente neutro, la universidad con menor capacidad obtiene un retorno sustancialmente inferior al de su contraparte. Más aún, la brecha entre ambas se amplía conforme aumenta el incentivo externo a la cooperación R , ya que las universidades con mayor capacidad transforman ese incentivo en esfuerzo adicional y, con ello, en una mayor probabilidad de éxito. El modelo muestra así que, en ausencia de mecanismos redistributivos o correctivos, los incentivos generales pueden ser capturados con mayor eficiencia por los actores estructuralmente más fuertes.

Este resultado ofrece una advertencia relevante para el diseño de políticas públicas: cuando las reglas de asignación son iguales pero los jugadores parten de posiciones desiguales, el equilibrio competitivo tiende a reproducir o incluso amplificar las brechas preexistentes. La cooperación voluntaria, si no va acompañada de una mejora efectiva en las condiciones de partida, no es suficiente para nivelar el terreno. La universidad estructuralmente rezagada enfrenta una doble restricción: una menor capacidad para desplegar esfuerzo y una eficiencia limitada para traducir cooperación en participación efectiva.

H. Efecto de una política de cooperación obligatoria

La simulación anterior mostró que, en entornos con alta asimetría de capacidades, los incentivos generales a la cooperación pueden tener efectos regresivos, en tanto son aprovechados con mayor eficiencia por las universidades que ya cuentan con una base estructural sólida. Esta situación plantea un dilema de política pública: ¿es posible inducir una redistribución efectiva de conocimiento desde las universidades más fuertes hacia las más débiles, sin comprometer la lógica competitiva del sistema?

Esta sección explora una posible solución institucional: la implementación de una política de cooperación obligatoria, entendida como un mandato de vinculación técnica que requiere que las universidades con mayor capacidad transfieran conocimiento a sus pares menos dotadas como condición para participar o ser evaluadas positivamente. Este tipo de intervención puede asumir la forma de cláusulas de articulación territorial, requisitos de mentoría formal o esquemas de co-ejecución con enfoque diferencial, presentes en diversas convocatorias públicas de ciencia y tecnología.

Para simular este escenario, se mantiene la configuración asimétrica del ejercicio anterior ($k_i = 0,2$, $\text{Exp}_i = 0,2$; $k_j = 0,6$, $\text{Exp}_j = 0,5$), así como todos los parámetros institucionales y de incentivo. La diferencia es que ahora se impone exógenamente una transferencia mínima de conocimiento desde la universidad con mayor capacidad, fijando $\beta_j = 0,5$, en lugar de dejarla como una decisión estratégica. El valor del premio se mantiene normalizado con $A = \bar{A} = 10,000$.

En primer lugar, se observa un aumento sustancial en el esfuerzo desplegado por la universidad menos dotada. Esto se debe a que la transferencia obligatoria mejora su capacidad efectiva (\tilde{k}_i), lo que reduce el costo marginal del esfuerzo e incentiva su participación competitiva. Esta dinámica muestra que la redistribución de conocimiento actúa como un catalizador para el esfuerzo, aun cuando el incentivo (R) permanezca constante.

En segundo lugar, se observa un incremento significativo en el beneficio esperado π_i , reduciendo la brecha con su contraparte. A diferencia del escenario sin intervención, aquí la universidad rezagada puede convertir el conocimiento recibido en mayor participación estratégica, acercándose al equilibrio competitivo en condiciones más equitativas. Esto no se logra mediante transferencias monetarias ni alteraciones en el criterio de evaluación, sino a través de una modificación en la estructura del juego: se mejora su posición de partida, sin modificar las reglas de asignación.

Un hallazgo relevante es que la universidad obligada a cooperar no ve reducida su utilidad esperada de forma significativa. Al tratarse de una transferencia no rival y parcialmente acumulable, el conocimiento cedido no disminuye su capacidad efectiva ni su probabilidad de éxito. En otras palabras, la cooperación impuesta no penaliza al actor fuerte, pero sí potencia la participación del actor débil, haciendo que el sistema en su conjunto funcione de forma más balanceada.

Desde una perspectiva institucional, la cooperación obligatoria puede interpretarse como un mecanismo de *pre-distribución estratégica*. En lugar de corregir *ex post* las desigualdades mediante subsidios o criterios de discriminación positiva, se interviene *ex ante* en las condiciones de participación, permitiendo que la competencia se desarrolle bajo una estructura más justa sin renunciar a sus principios meritocráticos.

Finalmente, la eficiencia de esta política depende del parámetro λ , que captura la capacidad de absorción del conocimiento transferido. Cuando λ es suficientemente alto, la transferencia impuesta se traduce en mejoras de desempeño. En contextos donde esta absorción es limitada, será necesario acompañar la cooperación con mecanismos adicionales de fortalecimiento institucional.

III. Discusión e implicaciones de política pública

El modelo desarrollado en este artículo permite analizar cómo las universidades, en su calidad de agentes estratégicos, responden a las reglas institucionales que regulan la asignación de recursos públicos para la investigación. Al introducir la posibilidad de cooperar estratégicamente y al endogenizar las preferencias del proponente, el modelo ofrece una representación de la interacción entre competencia y cooperación en entornos donde la participación no es simétrica.

Los resultados teóricos y numéricos obtenidos muestran que la cooperación entre universidades puede emerger como una estrategia racional solo cuando existe un diseño institucional que la promueve explícitamente. En ausencia de incentivos externos o de ponderadores que valoren el comportamiento colaborativo, la transferencia de conocimiento tiende a ser nula en equilibrio, incluso si produce beneficios agregados para el sistema. Esta situación confirma que la cooperación, en contextos de competencia, no surge espontáneamente: debe ser inducida a través de señales normativas claras o mecanismos de compensación efectivos.

Además, el modelo revela que los incentivos generales, como el parámetro R , si bien eficaces para aumentar la cooperación y el esfuerzo en escenarios simétricos, pueden tener efectos regresivos en entornos donde existen desigualdades estructurales entre los jugadores. Las universidades con mayor capacidad instalada y trayectoria previa están mejor posicionadas para traducir la cooperación en ventaja competitiva, mientras que las instituciones emergentes enfrentan restricciones que limitan su capacidad de respuesta. En este sentido, la neutralidad formal en las reglas puede traducirse en inequidad efectiva en los resultados, reproduciendo patrones de concentración en la distribución de los recursos.

Frente a este dilema, el modelo permite explorar intervenciones institucionales más estructurales, como las políticas de cooperación obligatoria o de vinculación interinstitucional asimétrica. Estas medidas actúan sobre las condiciones iniciales del juego, redistribuyendo capacidades sin eliminar los incentivos estratégicos y sin penalizar el desempeño de los actores más fuertes. Los resultados muestran que este tipo de intervenciones pueden mejorar la eficiencia agregada del sistema, aumentar el esfuerzo desplegado por los actores históricamente más débiles y reducir las brechas en los beneficios esperados, todo ello sin comprometer la lógica de competencia ni alterar los criterios de mérito.

Estas conclusiones tienen implicaciones relevantes para el diseño de políticas públicas en ciencia, tecnología e innovación, especialmente en contextos como el colombiano o el latinoamericano, donde las universidades enfrentan altos niveles de desigualdad en términos de infraestructura, redes y capacidades organizativas. En estos sistemas, el diseño de convocatorias públicas debería considerar no solo los criterios de evaluación técnica, sino también los mecanismos mediante los cuales se configuran los incentivos estratégicos de los participantes.

El modelo sugiere al menos tres recomendaciones normativas:

1. Incluir ponderadores institucionales explícitos que valoren la cooperación, la vinculación territorial y la inclusión de actores emergentes. Esto permite que la cooperación tenga retorno estratégico y no se limite a un valor normativo abstracto.
2. Diseñar incentivos diferenciales que reconozcan las desigualdades estructurales en la capacidad de respuesta de las universidades. Esto puede incluir bonificaciones para alianzas con instituciones con menor capacidad, criterios de evaluación relativos o esquemas de compensación técnica.
3. Fomentar la transferencia obligatoria de conocimiento en escenarios asimétricos, mediante requisitos mínimos de cooperación o mentoría institucional, sin que ello implique forzar alianzas artificiosas o disolver la competencia. La redistribución de capacidades puede realizarse mediante intervenciones quirúrgicas, sin necesidad de alterar la lógica meritocrática del sistema.
4. Diseñar convocatorias que reconozcan explícitamente la heterogeneidad del sistema universitario, estructurando líneas diferenciadas de apoyo según el tipo de institución (consolidada, emergente, especializada), para garantizar incentivos pertinentes y alcanzables.
5. Incluir métricas verificables de cooperación efectiva en los criterios de evaluación, premiando no solo la existencia de alianzas, sino su grado de integración y resultados compartidos, como coautorías, codirección de proyectos o ejecución conjunta.
6. Fomentar programas de mentoría interinstitucional en los que universidades con mayor capacidad acompañen a otras en procesos específicos como formulación de proyectos, propiedad intelectual o gestión administrativa, con reconocimiento formal dentro de los esquemas de evaluación. Un ejemplo exitoso de esta estrategia es la Alianza EFI, que ha logrado articular instituciones con capacidades dispares alrededor de proyectos colaborativos de investigación, generando aprendizajes compartidos, fortalecimiento institucional y resultados integrados que benefician al sistema en su conjunto.

7. Evaluar *ex ante* el impacto redistributivo de las convocatorias mediante simulaciones que permitan anticipar sus efectos sobre la concentración de recursos, utilizando modelos como el propuesto para proyectar equilibrios institucionales esperados.
8. Reconocer el esfuerzo incremental de las instituciones que parten de desventajas estructurales, incorporando indicadores de mejora relativa como el crecimiento en productividad investigativa, el fortalecimiento de capacidades internas o la diversificación de alianzas.
9. Promover el desarrollo de infraestructuras abiertas, plataformas tecnológicas compartidas y redes de servicios comunes que reduzcan los costos de cooperación, amplíen el acceso a capacidades técnicas y generen externalidades positivas para el sistema.

Conclusiones

Este artículo ha desarrollado un modelo teórico para analizar la interacción entre competencia y cooperación en entornos de asignación de recursos públicos para la investigación, con foco en el comportamiento estratégico de universidades heterogéneas. A partir de una estructura de concurso tipo Tullock, el modelo incorpora dos elementos clave que enriquecen la comprensión de estos procesos: por un lado, la posibilidad de transferencia voluntaria de conocimiento entre universidades como una estrategia cooperativa; y por otro, la presencia de un proponente institucional que asigna el recurso con base en un conjunto de criterios ponderados.

La inclusión de la cooperación como una decisión estratégica autónoma permite examinar las condiciones bajo las cuales esta puede emerger endógenamente, sin necesidad de imponer consorcios ni coordinar *ex ante* las decisiones de los jugadores. A su vez, el papel del proponente como diseñador del sistema de incentivos y evaluador de los atributos institucionales de los oferentes introduce una dimensión normativa fundamental, que conecta directamente con el diseño de políticas públicas y convocatorias reales.

Los resultados del modelo muestran que la cooperación no surge espontáneamente en equilibrio: requiere señales institucionales claras, ya sea en forma de incentivos externos (como bonificaciones por cooperación) o de reglas de evaluación que otorguen valor estratégico al comportamiento colaborativo. Además, se demuestra que las desigualdades estructurales entre universidades condicionan fuertemente su capacidad de competir y cooperar, lo que puede generar resultados regresivos si no se corrigen mediante políticas de redistribución de capacidades.

Las simulaciones numéricas complementan el análisis formal y permiten visualizar cómo distintos instrumentos como el incentivo explícito, el diseño de ponderadores institucionales o la cooperación obligatoria afectan el esfuerzo generado, los niveles de cooperación y la distribución del beneficio esperado entre actores asimétricos. En particular, se muestra que es posible diseñar intervenciones que promuevan equidad sin sacrificar eficiencia, alineando los intereses individuales con los objetivos colectivos del sistema.

Un aporte adicional del modelo radica en su capacidad para vincular explícitamente los incentivos establecidos por la política pública con las capacidades reales de respuesta de las instituciones participantes. Esta articulación permite identificar brechas entre el diseño normativo y su impacto efectivo en sistemas desiguales, facilitar la construcción de categorías institucionales basadas en su capacidad de absorción y diseñar mecanismos de focalización o redistribución más adecuados. De este modo, el modelo ofrece una herramienta práctica para anticipar los efectos diferenciados de

una misma política sobre distintos tipos de actores, contribuyendo a la formulación de convocatorias más sensibles a la heterogeneidad del sistema universitario, especialmente en contextos fragmentados como el colombiano. Este trabajo contribuye, así, a la literatura sobre teoría de juegos aplicada a economía de la ciencia y políticas de innovación, proponiendo un marco flexible y realista para analizar cómo el diseño institucional moldea el equilibrio entre competencia y cooperación. Más allá del contexto específico de las universidades, el modelo puede extenderse a otros sectores donde actores heterogéneos compiten por recursos bajo reglas comunes, como en políticas regionales, desarrollo productivo o adjudicación de fondos.

Entre las posibles extensiones futuras, se identifican tres líneas de investigación:

- i) La incorporación de dinámicas intertemporales, en las que las capacidades institucionales evolucionan con base en los resultados acumulados de convocatorias anteriores, permitiendo simular procesos de convergencia o divergencia entre actores y evaluar trayectorias de fortalecimiento institucional.
- ii) La introducción de múltiples agentes en el juego, con estructuras de interacción en red, que permitan modelar la formación de coaliciones, la circulación de conocimiento y los efectos sistémicos de las estrategias cooperativas en entornos más complejos y realistas.
- iii) La calibración empírica del modelo con datos reales de convocatorias públicas de ciencia, tecnología e innovación, lo cual permitiría contrastar los resultados teóricos con el comportamiento observado, estimar parámetros clave y evaluar *ex ante* los efectos redistributivos de distintas reglas de juego.
- iv) El desarrollo de tipologías institucionales basadas en la capacidad de absorción simulada, para clasificar a las universidades según su estructura de respuesta frente a incentivos públicos, y así diseñar instrumentos diferenciados de política más efectivos y pertinentes.
- v) La aplicación del modelo como herramienta de simulación para anticipar los impactos de convocatorias reales, identificando posibles efectos regresivos, niveles esperados de cooperación y escenarios de concentración de recursos, lo cual puede orientar decisiones de política más equitativas y basadas en evidencia.

Anexo

FOC y estática comparativa

Este anexo presenta los desarrollos analíticos del modelo de competencia con transferencia de conocimiento entre universidades. Incluye el planteamiento de la función objetivo, la obtención detallada de las condiciones de primer orden (FOC), la matriz Hessiana para analizar concavidad local, y derivadas implícitas para efectos comparativos ante cambios en los parámetros institucionales.

Función objetivo de la universidad i

La utilidad esperada de la universidad i es:

$$\pi_i = A \cdot Y_i - \frac{e_i^2}{k_i + \lambda \cdot \beta_j} - \tau \cdot \beta_i^2 + R \cdot \beta_i, \quad (20)$$

donde:

- A : valor nominal del premio
- Y_i : probabilidad de éxito
- e_i : esfuerzo competitivo de la universidad i
- β_i : nivel de cooperación ofrecido por i
- τ : costo marginal de cooperación
- R : incentivo externo a la cooperación
- λ : eficiencia de absorción del conocimiento
- $\Phi_i = w_1 k_i + w_2 \beta_i + w_3 \text{Exp}_i$: evaluación institucional de la universidad

La probabilidad de éxito es:

$$Y_i = \frac{e_i \Phi_i}{e_i \Phi_i + e_j \Phi_j}. \quad (21)$$

Condiciones de primer orden (FOC)

Derivada respecto al esfuerzo e_i :

$$\frac{\partial Y_i}{\partial e_i} = \frac{\Phi_i \cdot e_j \Phi_j}{(e_i \Phi_i + e_j \Phi_j)^2}. \quad (22)$$

Entonces:

$$\frac{\partial \pi_i}{\partial e_i} = A \cdot \frac{\Phi_i \cdot e_j \Phi_j}{(e_i \Phi_i + e_j \Phi_j)^2} - \frac{2e_i}{k_i + \lambda \beta_j}. \quad (23)$$

Condición de primer orden:

$$A \cdot \frac{\Phi_i \cdot e_j \Phi_j}{(e_i \Phi_i + e_j \Phi_j)^2} = \frac{2e_i}{k_i + \lambda \beta_j}. \quad (24)$$

Derivada respecto a la cooperación β_i :

$$\frac{\partial \pi_i}{\partial \beta_i} = w_2, \quad \frac{\partial Y_i}{\partial \beta_i} = \frac{e_i \cdot e_j \Phi_j \cdot w_2}{(e_i \Phi_i + e_j \Phi_j)^2}. \quad (25)$$

Entonces:

$$\frac{\partial \pi_i}{\partial \beta_i} = A \cdot \frac{e_i \cdot e_j \Phi_j \cdot w_2}{(e_i \Phi_i + e_j \Phi_j)^2} - 2\tau \beta_i + R. \quad (26)$$

Condición de primer orden:

$$A \cdot \frac{e_i \cdot e_j \Phi_j \cdot w_2}{(e_i \Phi_i + e_j \Phi_j)^2} = 2\tau \beta_i - R. \quad (27)$$

Estática comparativa

- Incentivo externo R :

$$\frac{d\beta_i^*}{dR} = \frac{1}{2\tau} > 0. \quad (28)$$

- Ponderador institucional w_2 :

$$\frac{d\beta_i^*}{dw_2} = \frac{A \cdot e_i e_j \Phi_j}{(e_i \Phi_i + e_j \Phi_j)^2 \cdot 2\tau} > 0. \quad (29)$$

- Capacidad efectiva $\tilde{k}_i = k_i + \lambda \beta_j$:

$$\frac{de_i^*}{d\tilde{k}_i} = \frac{2e_i}{\tilde{k}_i^2} / \left(-\frac{\partial^2 \pi_i}{\partial e_i^2} \right) > 0 \quad (30)$$

- Costo de cooperación τ :

$$\frac{d\beta_i^*}{d\tau} = -\frac{R}{2\tau^2} < 0. \quad (31)$$

Concavidad local (matriz Hessiana)

El vector de decisión de la universidad i es $x = (e_i, \beta_i)$. Calculamos la matriz Hessiana:

$$H = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 \pi_i}{\partial e_i^2} & \frac{\partial^2 \pi_i}{\partial e_i \partial \beta_i} \\ \frac{\partial^2 \pi_i}{\partial \beta_i \partial e_i} & \frac{\partial^2 \pi_i}{\partial \beta_i^2} \end{bmatrix} \quad (32)$$

Segunda derivada respecto a e_i

Recordamos:

$$Y_i = \frac{e_i \Phi_i}{e_i \Phi_i + e_j \Phi_j}. \quad (33)$$

Sea:

$$u = e_i \Phi_i, \quad v = e_i \Phi_i + e_j \Phi_j. \quad (34)$$

Entonces:

$$\frac{\partial Y_i}{\partial e_i} = \frac{\Phi_i e_j \Phi_j}{(e_i \Phi_i + e_j \Phi_j)^2} \quad (35)$$

Derivando nuevamente:

$$\frac{\partial^2 y_i}{\partial e_i^2} = \frac{-2\Phi_i^2 e_j^2 \Phi_j^2}{(e_i \Phi_i + e_j \Phi_j)^3}. \quad (36)$$

Por tanto:

$$\frac{\partial^2 \pi_i}{\partial e_i^2} = -2A \frac{(\Phi_i e_j \Phi_j)^2}{(e_i \Phi_i + e_j \Phi_j)^3} - \frac{2}{\tilde{k}_i}. \quad (37)$$

Segunda derivada respecto a β_i

$$\frac{\partial^2 \pi_i}{\partial \beta_i^2} = -A \cdot \frac{2e_i^2 w_2^2 e_j \Phi_j (e_i \Phi_i - e_j \Phi_j)}{(e_i \Phi_i + e_j \Phi_j)^3} - 2\tau. \quad (38)$$

Derivada cruzada: $\frac{\partial^2 \pi_i}{\partial e_i \partial \beta_i}$

$$\frac{\partial^2 \pi_i}{\partial e_i \partial \beta_i} = Aw_2 \left(\frac{e_j \Phi_j}{(e_i \Phi_i + e_j \Phi_j)^2} - \frac{2e_i \Phi_i e_j \Phi_j}{(e_i \Phi_i + e_j \Phi_j)^3} \right) \quad (39)$$

Declaración de ética

Este artículo de investigación no realizó trabajo con una persona o grupos de personas para la generación de datos empleados en la metodología, por tanto, no requirió ni obtuvo un aval de Comité de Ética para su realización.

Referencias

- Bae, S., & Lee, K. (2020). The Influence of Government R&D Support and Inter-Firm Collaborations on Innovation Performance. *Technological Forecasting and Social Change*, 151, 119826. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.119826>
- Baglieri, D., Carfi, D., & Dagnino, G. B. (2012). Asymmetric R&D Alliances and Cooperative Games. En *Proceedings of the International Conference on Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems* (pp. 607–621). <https://doi.org/10.48550/arXiv.1205.2878>
- Canhoto, A. I., Quinton, S., Jackson, P., & Dibb, S. (2016). The Co-Production of Value in Digital, University–Industry R&D Collaborative Projects. *Industrial Marketing Management*, 56, 86–96. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2016.03.010>
- Cohen, W. M., & Levinthal, D. A. (1990). Absorptive Capacity: A New Perspective on Learning and Innovation. *Administrative Science Quarterly*, 35(1), 128–152. <https://doi.org/10.2307/2393553>

Kobarg, S., Stumpf-Wollersheim, J., & Welp, I. M. (2018). University-industry Collaborations and Product Innovation Performance: The Moderating Effects of Absorptive Capacity and Innovation Competencies. *Journal of Technology Transfer*, 43(6), 1696–1724.

<https://doi.org/10.1007/s10961-017-9583-y>

Márquez, K. P., Rubiano, M. E. M., & Riaga, M. C. O. (2011). Modelos y mecanismos de interacción universidad-empresa-Estado: retos para las universidades colombianas. *Equidad & Desarrollo*, 15, 41–67. <https://doi.org/10.19052/ed.193>

Nishimura, J., & Okamuro, H. (2013). University–Industry Collaboration and Innovation: The Role of University Resources and Capabilities. *Science and Public Policy*, 43(2), 207–225.

<https://doi.org/10.1093/scipol/scv028>.

Rodríguez, L., & Vessuri, H. (2018). ¿Cooperación asimétrica? La despolitización de las redes internacionales. En R. Ramírez & J. Rodríguez (Coords.), *Internacionalización académica y científica: políticas, itinerarios, saberes e instrumentos* (pp. 17–35). Universidad de Guadalajara.

Tullock, G. (1980). Efficient Rent Seeking. En J. M. Buchanan, R. D. Tollison & G. Tullock (eds.), *Toward a Theory of the Rent-Seeking Society* (pp. 97–112). Texas A & M University.