



Revista de Ciencias Sociales

Depósito legal ppi 201502ZU4662
Esta publicación científica en formato
digital es continuidad de la revista impresa
Depósito Legal: pp 197402ZU789
● ISSN: 1315-9518 ● ISSN-E: 2477-9431

Universidad del Zulia. Revista de la Facultad de Ciencias Económicas y Sociales
Vol. XXXII, No. 2

Abril – Junio 2026

Revista de Ciencias Sociales

Esta publicación científica en formato
digital es continuidad de la revista impresa
Depósito Legal: pp 197402ZU789
ISSN: 1315-9518

Política de Ciencia Tecnología e Innovación en Colombia: Aportes entre 2000 y 2022*

Pinedo-López, Jhon**
Anaya-Narváez, Alfredo***
Baena-Navarro, Rubén****

Resumen

Este artículo analiza la evolución de la política de ciencia, tecnología e innovación en Colombia y sus efectos sobre el desarrollo científico y las asimetrías territoriales entre 2000 y 2022. Se emplea un estudio descriptivo con enfoque cuantitativo basado en fuentes oficiales, complementado con normativa estratégica (Conpes, leyes, decretos y planes nacionales de desarrollo). Los resultados evidencian un fortalecimiento sostenido de las capacidades nacionales: el país registró un crecimiento promedio anual de 280 grupos de investigación, 624 investigadores reconocidos, 11 revistas indexadas, 151 patentes concedidas y 822 publicaciones en Scopus; en el ámbito económico, se observaron incrementos medios anuales de 12,2% en el PIB nominal, 17% en las exportaciones, 30% en la inversión extranjera directa, 8% en el PIB per cápita y 28,45% en las importaciones. Aun así, el 63% de los grupos y el 68,4% de los investigadores se concentran en cinco departamentos, confirmando la persistencia de brechas territoriales. El estudio concluye que, aunque la política de ciencia, tecnología e innovación ha dinamizado el sistema nacional, persiste el desafío de avanzar hacia una distribución más equitativa de capacidades en el país.

Palabras clave: Política de Ciencia, Tecnología e Innovación; capacidades científicas; producción científica; territorialidad; Colombia.

* Los resultados que se presentan en este trabajo corresponden a datos parciales del proyecto INV3416, denominado: "La investigación científica en el departamento de Córdoba", que adelanta la Universidad de Córdoba y la Universidad Cooperativa de Colombia desde el año 2023.

** Profesor e Investigador en la Universidad Cooperativa de Colombia, Montería, Córdoba, Colombia. E-mail: jhon.pinedol@campusucc.edu.co ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9742-4296>

*** Doctor en Ciencias Económicas. Profesor e Investigador en la Universidad de Córdoba, Montería, Córdoba, Colombia. E-mail: aranaya@correo.unicordoba.edu.co ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2392-6880>

**** Doctor en Proyectos. Profesor e Investigador del Departamento de Ingeniería de Sistemas en la Universidad de Córdoba, Montería, Córdoba, Colombia. Profesor e Investigador del programa de Ingeniería de Sistemas en la Universidad Cooperativa de Colombia, Montería, Córdoba, Colombia. E-mail: rbaena@correo.unicordoba.edu.co ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5055-6515>

Science, Technology and Innovation Policy in Colombia: Contributions between 2000 and 2022

Abstract

This article analyzes the evolution of science, technology, and innovation policy in Colombia and its effects on scientific development and territorial inequalities between 2000 and 2022. A descriptive study with a quantitative approach is used, based on official sources and supplemented with strategic regulations (CONPES documents, laws, decrees, and national development plans). The results demonstrate a sustained strengthening of national capacities: the country registered an average annual growth of 280 research groups, 624 recognized researchers, 11 indexed journals, 151 patents granted, and 822 publications in Scopus. In the economic sphere, average annual increases were observed of 12.2% in nominal GDP, 17% in exports, 30% in foreign direct investment, 8% in GDP per capita, and 28.45% in imports. Even so, 63% of the research groups and 68.4% of the researchers are concentrated in five departments, confirming the persistence of territorial disparities. The study concludes that, although the science, technology, and innovation policy has revitalized the national system, the challenge of achieving a more equitable distribution of capabilities across the country remains.

Keywords: Science, Technology and Innovation Policy; scientific capabilities; scientific production; territoriality; Colombia.

Introducción

El desarrollo histórico de la Ciencia, Tecnología e Innovación (CTeI) en Colombia ha estado marcado por una tensión persistente entre el fortalecimiento institucional y una desigualdad territorial que se mantiene a lo largo del tiempo. Los primeros lineamientos estatales que reconocieron la relevancia estratégica de la investigación científica aparecieron en los planes nacionales de desarrollo de los años sesenta, en un proceso de modernización productiva y ampliación de la base de capital humano (Departamento Nacional de Planeación [DNP], 2023).

La creación de Colciencias en 1968 constituyó un hito en esta trayectoria al institucionalizar la financiación pública de la investigación y promover la articulación universidad-Estado; aun así, el sistema se configuró desde sus inicios como un campo altamente concentrado, donde pocos actores absorbían la mayor parte de los recursos

disponibles (Guzmán, 2021).

Durante las décadas siguientes, el país consolidó un marco jurídico más robusto mediante instrumentos como la Ley 29 de 1990 y los Decretos 393, 585 y 591 de 1991, orientados a coordinar institucionalmente un Sistema Nacional de CTeI (DNP, 2009). A esta arquitectura se integró la Ley 286 de 1996, que reforzó el papel de Colciencias como entidad rectora y fortaleció las capacidades técnicas necesarias para orientar la política científica en financiación, evaluación y planificación estratégica. No obstante, el diagnóstico elaborado por la Misión de Ciencia, Educación y Desarrollo reveló que la estructura del sistema seguía siendo profundamente inequitativa, con extensas regiones sin masa crítica investigativa, con infraestructura insuficiente y con baja inserción en redes científicas consolidadas (Presidencia de la República, 1996).

Sobre este trasfondo, las dos décadas posteriores intensificaron el diseño

institucional de la CTeI. La creación del Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sistema General de Regalías en 2012 abrió una vía de financiamiento territorial que buscó expandir capacidades subnacionales; mientras que la Ley 2162 de 2021 transformó a Colciencias en el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (Minciencias). Este tránsito redefinió la gobernanza del sector y amplió sus atribuciones en planificación, financiamiento y articulación territorial. A pesar de estos avances, varios departamentos siguen enfrentando barreras estructurales asociadas a limitaciones de infraestructura, escasez de talento humano altamente calificado y concentración presupuestal en unos pocos nodos.

Las tensiones entre consolidación institucional y desigualdad territorial han sido ampliamente documentadas. Estudios centrados en el rol del Estado, la arquitectura de incentivos, el desempeño universitario y la trayectoria institucional del sistema, coinciden en caracterizar la heterogeneidad territorial como un rasgo persistente y estructural del campo científico colombiano (Chalela-Naffah y Rodríguez-Gómez, 2020; Torres et al., 2020; Escobar-Toledo et al., 2022; Moreno-López et al., 2022; Cortés y Ramírez-Cajiao, 2023; Asprilla-Perea et al., 2023).

Este patrón converge con análisis latinoamericanos que muestran una alta concentración de la producción científica en polos consolidados y amplias dificultades para expandir capacidades investigativas en regiones periféricas (Paredes-Chacín et al., 2020; Vernaza et al., 2020; Piña y Senior, 2020). La evidencia apunta a una constante: el crecimiento del sistema no logra cerrar brechas históricas y, en varios indicadores, tiende a profundizarlas.

La persistencia de estas asimetrías constituye el núcleo del problema de investigación. A pesar del fortalecimiento normativo y del incremento sostenido de la inversión en Actividades de Ciencia, Tecnología e Innovación (ACTI) e Investigación y Desarrollo (I+D), la distribución territorial de las capacidades

científicas, tecnológicas e innovadoras continúa siendo desigual. El desafío no reside solamente en el volumen de recursos asignados, sino en su dispersión inequitativa, en la concentración del talento humano y en la limitada inserción de varios territorios en redes nacionales e internacionales de producción de conocimiento. Estas condiciones restringen la capacidad de la política de CTeI para operar como mecanismo de desarrollo equitativo y limitan su impacto sobre el crecimiento económico, la productividad y la cohesión territorial.

En este marco, el objetivo del artículo es analizar la evolución de la política pública de CTeI en Colombia entre 2000 y 2022, evaluando sus aportes al fortalecimiento del sistema en los niveles nacional y regional e identificando los patrones de concentración territorial que persisten en la distribución de capacidades científicas y tecnológicas. El estudio se desarrolla mediante un análisis descriptivo, sustentado en documentos oficiales, indicadores comparados y series históricas del Departamento Nacional de Planeación (DNP); Minciencias; el Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología (OCyT); y, bases de datos internacionales como *Scopus* (Elsevier, 2023).

La pregunta de investigación que orienta este examen es: ¿Cómo ha evolucionado la política pública de CTeI en Colombia entre 2000 y 2022, y de qué manera dicha evolución ha incidido en la configuración y persistencia de asimetrías territoriales en capacidades científicas, tecnológicas e innovadoras?

En coherencia con este interrogante, se plantea la siguiente hipótesis: La política pública de CTeI ha impulsado un crecimiento significativo en los indicadores nacionales de grupos de investigación, investigadores, programas de doctorado, producción científica e inversión en ACTI e I+D; sin embargo, este crecimiento no ha contribuido a reducir las asimetrías territoriales, sino que ha reforzado la concentración de capacidades en un conjunto limitado de departamentos con mayor infraestructura institucional y mayor acceso a recursos financieros.

Esta perspectiva permite abordar la política de CTel desde un enfoque dual. Por un lado, reconoce la expansión institucional y la importancia de hitos normativos como la Ley 286 de 1996 y la Ley 2162 de 2021; por otro, examina críticamente las lógicas de concentración que condicionan su impacto territorial. La literatura nacional y regional refuerza la necesidad de enfoques analíticos que articulen medición histórica, caracterización territorial y criterios de equidad científico-tecnológica, elementos que enmarcan la pertinencia y alcance del estudio que se presenta a continuación.

1. Fundamentación teórica

1.1. Política nacional de CTel en Colombia

La formulación contemporánea de la política nacional de CTel en Colombia adquirió un rumbo decisivo con el informe de la “*Misión de Ciencia, Educación y Desarrollo*”, cuyo impacto se plasmó en el Conpes 2739 de 1994. Este documento ofreció un diagnóstico estructurado de las restricciones que frenaban el desarrollo científico y tecnológico: baja inversión pública y privada, escasez de investigadores, limitada capacidad innovadora del sector productivo, concentración territorial de los recursos, rezagos regionales persistentes y débil articulación entre generación y uso del conocimiento (DNP, 1994). A partir de este mapa de problemas, se definieron los frentes críticos que orientarían la política de CTel en las décadas posteriores.

A comienzos del siglo XXI, una serie de decisiones normativas buscó corregir estos desequilibrios. Los Conpes 3080 de 2000 (DNP, 2000); 3179 de 2002 (DNP, 2002); 3582 de 2009 (DNP, 2009); 3834 y 3835 de 2015 (DNP, 2015a; 2015b); 3981 de 2019 (DNP, 2019); y, 4069 de 2021 (DNP, 2021), propusieron fortalecer capacidades científicas, ampliar la infraestructura para la formación avanzada y consolidar la articulación entre academia, Estado y sector productivo. En

este marco, la Ley 1286 de 2009 transformó a Colciencias en departamento administrativo; mientras que la Ley 2162 de 2021 dio lugar al Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación.

Este andamiaje normativo reconoció avances en actividades de ciencia, tecnología e innovación, pero insistió en la necesidad de elevar la inversión al 1% del PIB, incrementar la masa crítica de científicos y ampliar la participación empresarial en la financiación del sistema (DNP, 2009). Aun así, los desequilibrios territoriales continuaron marcando el comportamiento de la CTel, lo que refuerza la importancia de evaluar sus resultados a escala nacional y regional.

La estrategia delineada en el Conpes 2739 se incorporó al Plan Nacional de Desarrollo 1994–1998, que estableció elevar la inversión en CTel del 0,5% al 1% del PIB y consolidar un programa de formación de recursos humanos orientado a alcanzar 2.000 doctores, cifra sustancialmente mayor a los 580 proyectados para el período 1990–1994 (DNP, 1991; 1995). Sin embargo, el ciclo 1994–1998 cerró con una inversión efectiva de apenas 0,48% del PIB, lo que evidenció la brecha entre las metas trazadas y las capacidades reales de ejecución (Camacho, 2016).

El período 1998–2002 retomó el esfuerzo mediante programas como la formación doctoral en el exterior, el fortalecimiento del programa Jóvenes Investigadores y el impulso a capacidades regionales (DNP, 1999). En este mismo contexto, se materializó una recomendación formulada años antes: la creación del Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología (OCyT), concebido como entidad independiente para sistematizar información y asegurar continuidad en las estadísticas nacionales de CTel (Jaramillo, 1996), lo que permitió consolidar series comparables y mejorar el seguimiento de las políticas.

Entre 2002 y 2010, Colciencias y el DNP estructuraron el Plan Nacional de Desarrollo Científico-Tecnológico y de Innovación 2007–2019, que amplió el énfasis hacia la innovación y la competitividad, enfoque que

se profundizó en 2010–2018 con iniciativas como Colombia Científica y la estrategia de Apropiación Social de la CTeI, dirigidas a estrechar la relación entre ciencia y sociedad. Esta dinámica continuó en el período 2018–2022, con la creación del Ministerio de CTeI, hito que consolidó institucionalmente al sector. Sin embargo, la meta histórica de invertir el 1% del PIB en ACTI no se alcanzó: el país llegó al 0,85% en 2018 y al 0,89% en 2022, avances relevantes, pero todavía insuficientes para transformar de forma estructural la distribución territorial de las capacidades científicas y tecnológicas (Departamento Nacional de Planeación y Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología [DNP y OCyT], 2022).

Esta trayectoria muestra un sistema que ha ganado en institucionalidad, planificación y mecanismos de fomento, pero que enfrenta dificultades persistentes para traducir ese entramado normativo en incrementos sostenidos de inversión, expansión equitativa de capacidades y reducción de brechas regionales. Sobre este trasfondo, se articula el análisis del presente estudio, centrado en valorar en qué medida el despliegue de la política nacional de CTeI ha contribuido, o no, a modificar la geografía de la ciencia e innovación en Colombia.

2. Metodología

La investigación se desarrolló mediante un diseño descriptivo con enfoque cuantitativo (Hernández et al., 2014), orientado a examinar la evolución de los principales indicadores de CTeI en Colombia y su relación estructural con variables macroeconómicas. Este tipo de aproximación resulta pertinente para analizar sistemas nacionales de innovación a partir de series históricas comparables y ha mostrado especial utilidad en contextos con disparidades regionales consolidadas (Asprilla-Perea et al., 2023; Cortés y Ramírez-Cajiao, 2023). La estrategia se alinea, además, con los lineamientos para la medición de I+D establecidos por la OCDE (MSTI) y con los

estándares estadísticos de UNESCO-UIS, que permiten asegurar armonización interfuente y comparabilidad temporal (Organisation for Economic Co-operation and Development [OECD], 2024; Instituto de Estadística de la UNESCO, 2024).

La dimensión normativa se estructuró mediante un análisis documental exhaustivo de leyes, decretos, documentos Conpes y planes nacionales de desarrollo, emitidos entre 1960 y 2022. Este corpus permitió reconstruir la trayectoria institucional de la política de CTeI, sus puntos de inflexión y los mecanismos de financiación que han orientado el sistema. Se integró también el repositorio histórico del Índice Departamental de Innovación para Colombia (IDIC), lo cual facilitó comprender los cambios metodológicos y las dimensiones evaluadas en las distintas versiones del indicador (DNP y OCyT, 2022).

El componente empírico se sustentó en fuentes oficiales de Minciencias, OCyT, DNP y Banco de la República. Se recopilaron indicadores de grupos de investigación por categoría, investigadores por nivel, programas y graduados de doctorado, publicaciones indexadas, patentes concedidas, inversión en ACTI e inversión en I+D. La medición de la producción científica se realizó con datos de *Scopus* entre 2000 y 2022, empleando el filtro de búsqueda por ciudad de afiliación institucional, un criterio válido y replicable en la arquitectura de búsqueda avanzada de la base (Elsevier, 2023). Estudios recientes corroboran la fiabilidad de este método para caracterizar la producción científica territorial y su relación con capacidades institucionales (Chalela-Naffah y Rodríguez-Gómez, 2020; Moreno-López et al., 2022).

El periodo analizado comprende de 2000 a 2022, con puntos de comparación seleccionados para los años 2002, 2006, 2010, 2014, 2018 y 2022, dado que concentran disponibilidades estadísticas consolidadas y eventos institucionales relevantes. Se incorporaron variables macroeconómicas como el PIB, PIB per cápita, exportaciones, importaciones e inversión extranjera directa, con el fin de explorar asociaciones entre

desempeño económico y capacidades científicas, siguiendo aproximaciones empleadas en evaluaciones internacionales sobre innovación y crecimiento (World Intellectual Property Organization [WIPO], 2022; Banco de la República de Colombia, 2023; OECD, 2024).

El tratamiento de datos se desarrolló en tres niveles sucesivos. En el primero, se verificó la consistencia interna de las series mediante depuración de valores atípicos, homologación de etiquetas y documentación de rupturas metodológicas, siguiendo buenas prácticas de integración de datos bibliométricos y administrativos (Lim et al., 2024; Passas, 2024).

El segundo nivel, consistió en la construcción de indicadores relativos que permiten resaltar patrones territoriales: participaciones departamentales, tasas ajustadas por población, indicadores por investigador o por grupo, y métricas normalizadas conforme a estándares de la OCDE para análisis comparados de I+D (OECD, 2024). La lectura territorial se complementó con las dimensiones y puntajes del IDIC. En el tercer nivel se calcularon medidas de crecimiento para interpretar la evolución de los indicadores. El incremento promedio anual simple se estimó mediante la ecuación (1):

$$\Delta X_{\text{anual}} = \frac{x_{t_1} - x_{t_0}}{t_1 - t_0} \quad (1)$$

Donde representa el valor del indicador en el año t . Como complemento, se calculó la tasa de crecimiento anual compuesta (TCAC), una métrica que permite analizar la intensidad relativa de crecimiento a lo largo del periodo como se muestra en la ecuación (2):

$$TCAC_x = \left(\frac{x_{t_1}}{x_{t_0}} \right)^{\frac{1}{t_1 - t_0}} - 1 \quad (2)$$

El uso conjunto de ambas métricas permite diferenciar entre magnitudes absolutas y ritmos de expansión, lo cual ofrece una lectura más matizada de las dinámicas del sistema en contextos con variabilidad estructural (Ullah et al., 2022; Monson et al., 2024).

Las series económicas se trabajaron en valores corrientes, dado que el propósito del

análisis era caracterizar tendencias generales y niveles de inversión más que comparar poder adquisitivo intertemporal. Su interpretación se apoyó en metadatos oficiales y diagnósticos macroeconómicos recientes, que registran los efectos de los ciclos económicos y reformas tributarias sobre el esfuerzo fiscal en I+D (OECD, 2024).

Esta estrategia metodológica —basada en fuentes verificables, criterios robustos de armonización y métricas consolidadas en la literatura— proporciona una base sólida para caracterizar la evolución del sistema colombiano de CTel, identificar patrones territoriales persistentes y ofrecer una lectura estructural de su vínculo con el desempeño económico.

3. Resultados y discusión

3.1. Logros en indicadores de ciencia en Colombia entre 2002 y 2022

El desarrollo de la política nacional de CTel consolidado a partir del Compes 3080 de 2000 marcó un punto de inflexión en la definición de metas explícitas para el país. En 2002, Colombia destinaba el 0,34% del PIB a ACTI, ofertaba 45 programas de doctorado y contaba con 8.598 investigadores activos y 3.127 doctores, además de una producción científica que incluía 4.111 artículos, 1.001 capítulos de libro, 421 libros de investigación y 196 patentes concedidas, con un presupuesto sectorial superior a los 100 mil millones de pesos (OCyT, 2007).

La Tabla 1, presenta la evolución de los indicadores entre 2002 y 2022 y evidencia un crecimiento sostenido en grupos de investigación, investigadores, doctores, jóvenes investigadores, programas doctorales, producción indexada en *Scopus*, patentes, revistas en Publindex, inversión en ACTI y presupuesto institucional (OCyT, 2007; 2016; 2020; 2021; Minciencias, 2022).

Tabla 1
Evolución de los principales indicadores de CTeI en Colombia (2002–2022)

Año	2002	2006	2010	2014	2018	2022
Grupos	544	3.032	4.078	3.970	5.772	6.160
Investigadores	8.598	10.634	8.016	10.050	16.796	21.094
Doctores	3.127	4.398	5.105	12.000	13.001	20.349
Jóvenes Inv.	173	218	951	892	842	1.730
Producción Scopus	1.205	2.285	5.009	8.530	13.756	17.646
Patentes concedidas	196	694	1.012	1.261	1.330	3.214
Programas Doctorado	45	65	114	226	373	427
Inversión en ACTI (%PIB)	0,34%	0,53%	0,41%	0,69%	0,85%	0,89%
Presupuesto Colciencias (millones)	\$108.362	\$151.984	\$356.623	\$376.768	\$334.778	\$330.519
Revistas Publindex	62	156	368	246	275	287

Fuente: Elaboración propia, 2025 con base en OCyT (2007); (2016); (2020); (2021); y, Minciencias (2022).

Hacia 2006, el sistema alcanzaba 3.032 grupos de investigación distribuidos entre las categorías A, B, C, Reconocidos y No reconocidos, y el 93% de los investigadores se vinculaba a universidades. La producción científica superaba las 4.700 publicaciones, acompañadas de más de mil capítulos de libro y cerca de 700 patentes concedidas (OCyT, 2007). A partir de 2010 se observa una aceleración más marcada, asociada a las transformaciones institucionales derivadas de la Ley 1286 de 2009, que fortaleció la infraestructura de formación avanzada y amplió los incentivos a la investigación.

Entre 2010 y 2014 se registró un incremento pronunciado del número de programas de doctorado, de doctores graduados y de los montos invertidos en ACTI; esta trayectoria continuó en los periodos 2014–2018 y 2018–2022, aunque con fluctuaciones puntuales en el presupuesto de Colciencias/Minciencias en 2018 y 2022.

La reducción observada en la apropiación directa a Colciencias durante algunos años no implicó un retroceso en el esfuerzo nacional, sino una redistribución de fuentes hacia el Fondo de CTeI del Sistema General de Regalías. Desde 2017, este fondo asumió un papel creciente en la financiación de I+D, lo que produjo descensos aparentes en

el presupuesto de la entidad rectora sin afectar la inversión agregada ni la trayectoria de expansión del sistema (OCyT, 2021; OECD, 2024). Este reacomodamiento ayuda a explicar por qué la contracción del presupuesto central no interrumpió el crecimiento de grupos, investigadores, programas doctorales y producción científica, impulsados por ciclos acumulativos de inversión, maduración institucional y mayor gasto territorial.

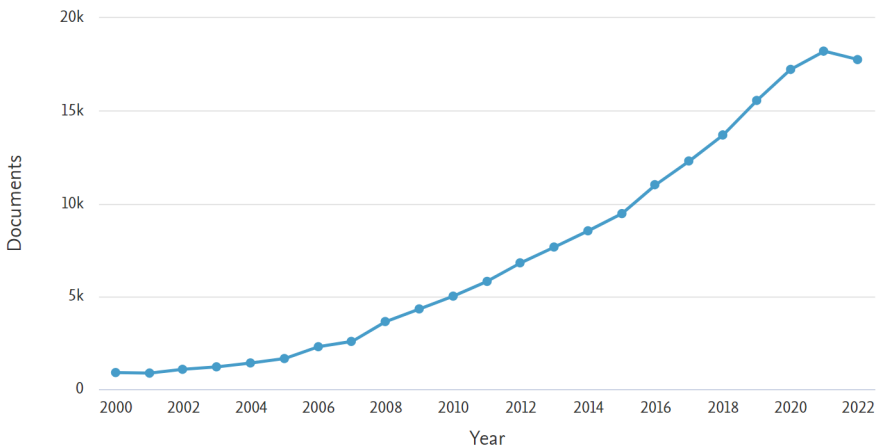
En términos agregados, durante el período 2002–2022 el crecimiento promedio anual alcanzó aproximadamente 280 grupos de investigación, 624 investigadores, 11 revistas indexadas en Publindex, 151 patentes concedidas y 822 publicaciones en *Scopus*. La dinámica de propiedad industrial refleja una articulación cada vez más estrecha entre universidades y empresas: en los últimos años, los principales titulares de solicitudes de patentes han sido la Universidad Nacional de Colombia (81), la Universidad Industrial de Santander (74) y Ecopetrol (72), lo que sugiere un aumento sostenido de actividades de I+D con orientación productiva (Consejo Privado de Competitividad, 2022).

En el ámbito de la producción científica internacional, entre 2000 y 2022 Colombia acumuló 168.894 publicaciones indexadas en *Scopus*, con un ascenso especialmente

acusado a partir de 2010, cuando se superaron por primera vez las cinco mil publicaciones anuales. El Gráfico I, representa esta trayectoria y muestra que el máximo volumen del periodo se registró en 2018, con 18.132 documentos, valor cercano a los 17.646 reportados en 2022. En la desagregación

por áreas, medicina encabeza la producción (42.578 documentos), seguida de ingeniería (28.393) y de ciencias agrícolas y biológicas (23.870), lo que configura una base científica amplia, aunque con concentración notable en estos campos.

Documents by year



Fuente: Elaboración propia, 2025 a partir de Scopus.

Gráfico I: Publicaciones colombianas en Scopus, período 2000-2022

Pese a estos avances, el esfuerzo nacional en I+D sigue por debajo del promedio latinoamericano y de la OCDE. La inversión colombiana se sitúa en torno al 0,32% del PIB, frente al 1,2% de la OCDE y a los niveles de economías regionales como Brasil (1,16%), Argentina (0,59%) y Chile (0,38%) (Consejo Privado de Competitividad, 2022).

En paralelo, entre 2000 y 2022, el PIB nacional pasó de 99.880 millones a 343.940 millones de dólares, con un incremento del 244%; mientras que el PIB per cápita creció cerca del 160%. En el mismo periodo, las exportaciones aumentaron alrededor del 333%, las importaciones lo hicieron en torno al 569% y la inversión extranjera directa se

multiplicó por seis (Banco de la República de Colombia, 2023). Este entorno económico acompañó el aumento de la inversión en ACTI, orientada al fortalecimiento del recurso humano con vocación científica, la mejora de la productividad y la participación creciente del sector empresarial.

Entre 2010 y 2019 la inversión total en ACTI creció 111,9%, pasando de 3,1 a 6,5 billones de pesos, y la proporción financiada por el sector productivo aumentó de 39,1% a 48,7%, lo que indica una progresiva internalización de la I+D en el tejido empresarial (Consejo Privado de Competitividad, 2020).

La trayectoria descrita perfila un sistema

científico que amplía su escala, diversifica su producción e incorpora nuevas fuentes de financiación, pero que todavía opera con un esfuerzo relativo en I+D inferior al de economías comparables. Esta tensión entre expansión y rezago relativo justifica que los logros agregados se examinen a la luz de su distribución territorial y de la manera en que se traducen en capacidades diferenciadas entre departamentos, cuestión que estructura el análisis de las secciones siguientes.

3.2. Inversión en ACTI e I+D y sus aportes en los departamentos colombianos

En el plano territorial se observa una asimetría pronunciada en la inversión en ACTI y en I+D, con una concentración muy elevada de recursos en Bogotá, Antioquia y Santander. La magnitud de esta concentración es tal que la suma de la inversión de la mayoría de los demás departamentos no alcanza la mitad de lo asignado a Bogotá, que representa cerca del 40% del total nacional y acumula \$3.718.325 millones, como se muestra en la Tabla 2 (Minciencias, 2023).

Tabla 2
Inversión en ACTI por departamentos en Colombia, año 2021

Posición	Departamento	Inversión en ACTI (Millones de \$)	Inversión en I+D
1	Bogotá	3.718.325	951.142
2	Antioquia	1.434.480	463.058
3	Santander	1.231.671	172.193
4	Valle del Cauca	650.581	209.781
5	Cundinamarca	364.176	80.793
6	Atlántico	249.390	59.373
7	Bolívar	203.332	49.001
8	Magdalena	194.803	93.123
9	Córdoba	164.501	30.696
10	Caldas	126.870	29.822
11	Cesar	114.711	14.072
12	Boyacá	103.435	35.150
13	Tolima	83.464	30.161
14	Risaralda	62.036	17.641
15	Nariño	60.530	15.013
16	Norte de Santander	58.425	8.714
17	Meta	51.904	13.441
18	Cauca	42.014	14.980
19	Huila	39.397	2.518
20	Quindío	37.726	22.420
21	La Guajira	32.390	4.610

Cont... Tabla 2

Posición	Departamento	Inversión en ACTI (Millones de \$)	Inversión en I+D
22	Casanare	29.212	4.334
23	Chocó	28.563	9.325
24	Caquetá	27.903	13.229
25	Sucre	21.700	2.717
26	Amazonas	17.517	11.420
27	Guainía	11.993	2.120
28	Guaviare	11.636	4.529
29	Arauca	6.936	580
30	Putumayo	6.021	1.518
31	San Andrés	4.630	2.338
32	Vaupés	4.025	2.473
33	Vichada	3.588	548

Fuente: Elaboración propia, 2025 con base en Minciencias (2023).

La desigualdad no solo se manifiesta entre regiones, sino también dentro de ellas. En la región Caribe, Atlántico supera ampliamente a departamentos como Sucre; en el Pacífico, Valle del Cauca concentra una fracción muy superior de los recursos en comparación con Chocó; en la Orinoquía, Casanare se distancia de Vichada; en el Eje Cafetero, Caldas aventaja de manera clara a Quindío; y en la región Andina, Cundinamarca mantiene una brecha significativa frente a Huila. Estas diferencias de inversión se replican en cascada en los principales indicadores de capacidades: Número de investigadores reconocidos por Minciencias, grupos clasificados, producción científica, aportes al PIB, índice de innovación departamental, productividad laboral y PIB per cápita.

Bogotá, Antioquia, Valle del Cauca, Atlántico y Santander concentran el 63% de los grupos de investigación y el 68,4% de los investigadores, configurando una estructura fuertemente centralizada. En estos mismos territorios se ubica la mayoría de los centros de investigación, centros de desarrollo tecnológico, centros de innovación

y productividad y unidades empresariales de I+D+i, con participaciones destacadas de Bogotá (37,4%), Antioquia (23,7%), Valle del Cauca (12%), Caldas (6,1%) y Atlántico (4,6%), en sectores como salud, energía-servicios, ingenierías, ambiente y agro. Entre los centros de desarrollo tecnológico e innovación sobresalen Ceniagua, Cenibanano, Cenicafé, Cenicaña, Cencil, Ceniflores y Cenipalma (Consejo Privado de Competitividad, 2022).

La relación entre inversión en ACTI e innovación es directa para la mayoría de los departamentos, con la excepción notable de Quindío, que, pese a ubicarse en el puesto veinte en inversión, alcanza un desempeño medio-alto en el Índice Departamental de Innovación y se sitúa en el octavo lugar nacional. Bogotá y Antioquia, son los únicos territorios con desempeño alto; Valle del Cauca, Santander, Risaralda, Atlántico y Caldas, se ubican en el nivel medio-alto; Boyacá, Tolima, San Andrés y Cauca, registran desempeño medio; mientras que Huila, Norte de Santander, Meta, Magdalena, Casanare, Nariño, Córdoba, Sucre, Cesar y Amazonas, se clasifican en desempeño

medio-bajo. Putumayo, Arauca, Guaviare, Caquetá, Guainía, Chocó, La Guajira, Vaupés y Vichada, conforman el grupo de desempeño bajo (DNP y OCyT, 2022).

En conjunto, los departamentos con mejor desempeño en innovación —Bogotá-Cundinamarca, Antioquia, Valle del Cauca, Santander y Atlántico— concentran algo más de la mitad de la población y cerca de dos tercios del PIB nacional; mientras que el conjunto de territorios de menor desempeño agrupa una fracción muy reducida de los habitantes del país y una proporción marginal del producto (DNP y OCyT, 2022).

Las diferencias en PIB per cápita y productividad laboral refuerzan esta lectura. Solo tres territorios superan los 29 millones de pesos de PIB per cápita (Casanare, Meta y Bogotá-Cundinamarca); mientras que Vichada, Vaupés, Guainía, Chocó, Sucre y

La Guajira, se ubican por debajo de los 9 millones. En productividad laboral, Santander, Bogotá-Cundinamarca, Boyacá, Antioquia y Valle del Cauca, lideran el *ranking* con valores muy superiores al promedio nacional, en estrecha asociación con la densidad de grupos de investigación y el volumen de inversión en ACTI (DNP y OCyT, 2022).

La Tabla 3, presenta la distribución de grupos de investigación e investigadores por departamento y sintetiza los efectos de la política de CTel sobre la capacidad instalada en el territorio. Los datos muestran que Bogotá, por sí sola, supera el número total de grupos de investigación que suman Antioquia, Valle del Cauca, Santander y Atlántico, y que estas cinco entidades concentran el 63% de los grupos, el 68,4% de los investigadores y el 81% de los grupos clasificados en la categoría A1.

Tabla 3
Distribución de grupos e investigadores por departamentos, 2022

Departamento	Grupos de Investigación	Grupos A1	Investigadores
Bogotá	1.954	314	6.582
Antioquia	834	195	3.528
Valle del Cauca	472	79	1.671
Atlántico	313	67	1.486
Santander	303	33	1.170
Boyacá	209	8	584
Bolívar	201	15	567
Caldas	176	37	612
Risaralda	170	17	413
Cundinamarca	163	22	435
Norte de Santander	160	4	523
Nariño	118	2	280
Cauca	117	5	330
Tolima	110	6	316
Quindío	89	4	192
Meta	85	1	174
Córdoba	83	10	344
Huila	79	3	218
Magdalena	78	16	278
Cesar	59	1	135
La Guajira	56	0	156
Sucre	52	3	166
Caquetá	37	1	67

Cont... Tabla 3

Departamento	Grupos de Investigación	Grupos A1	Investigadores
Chocó	36	0	49
Casanare	16	0	22
Amazonas	10	3	22
San Andrés y Prov.	6	1	6
Putumayo	3	0	4
Guaviare	3	0	2
Arauca	1	0	8
Guainía	1	0	2
Vaupés	1	0	1
Vichada	1	0	2

Fuente: Elaboración propia, 2025 con base en Minciencias (2023).

Este patrón se ve fuertemente influido por la presencia de universidades con alta capacidad investigativa—como la Universidad Nacional de Colombia, la Universidad de los Andes, la Universidad Externado de Colombia, la Pontificia Universidad Javeriana, la Universidad del Rosario, EAFIT, la Universidad de Antioquia, la Universidad del Valle, la Universidad Industrial de Santander y la Universidad del Atlántico—, cuyo aporte ha sido documentado de manera amplia en el análisis de la política de CTel y del papel de las instituciones de educación superior en la producción científica (Gómez-Vargas y García, 2015; Pardo y Cotte, 2021a; 2021b; Escobar-Toledo et al., 2022; Moreno-López et al., 2022; Cortés y Ramírez-Cajiao, 2023).

También resulta relevante el desempeño de Caldas y Risaralda, que, con poblaciones más reducidas, alcanzan niveles de inversión en ACTI, desempeño en innovación y número de grupos A1 comparables o superiores a departamentos con mayor tamaño poblacional, como Córdoba, Nariño, Cauca y Norte de Santander. Meta y Casanare, constituyen casos particulares: la explotación de hidrocarburos impulsa su PIB per cápita y su aporte al PIB nacional, de modo que Casanare alcanza el valor per cápita más alto del país con una fracción mínima de la población; mientras que Meta contribuye con el 3,13% del PIB nacional con apenas el 2,1% de los habitantes, superando

en producto generado a departamentos como Nariño, Norte de Santander y Córdoba.

A pesar del crecimiento generalizado del número de grupos e investigadores desde la primera convocatoria de Colciencias en 1991 -cuando se reconocieron 134 grupos-, la expansión se ha distribuido de manera marcadamente desigual. Para 2022, Bogotá y otros diez departamentos superan individualmente esa cifra; once más se sitúan por encima de cincuenta grupos y once permanecen por debajo de dicho umbral. Entre estos últimos, se encuentran territorios con importantes recursos naturales renovables y no renovables, como Caquetá, Casanare y Chocó, junto con departamentos con las inversiones más bajas en ACTI e I+D (Putumayo, Guainía, Vaupés y Vichada), en algunos casos con montos inferiores a \$12 mil millones en ACTI y \$5 mil millones en I+D.

En conjunto, la evidencia describe un sistema de CTel que crece en magnitud, pero lo hace de forma marcadamente desigual, con núcleos de alta inversión, productividad e innovación frente a periferias científicas con escasa masa crítica y baja inserción en dinámicas de I+D. Esta configuración reproduce brechas históricas y limita la capacidad de la política para reorientar recursos hacia los territorios más rezagados, aun disponiendo de indicadores robustos y series consolidadas (Pinedo-López, Baena-

Navarro et al., 2024; Pinedo-López, Lora-Ochoa et al., 2024; Pinedo-López et al., 2025). Sobre este diagnóstico se construye la propuesta del *framework* RAITE, orientado a monitorear, anticipar y reducir las asimetrías territoriales en CTel mediante analítica avanzada y criterios explícitos de equidad territorial.

3.3. Framework RAITE para el monitoreo de asimetrías territoriales en CTel

Los resultados anteriores muestran que la política de CTel en Colombia ha expandido de manera sostenida las capacidades científicas y tecnológicas, pero lo ha hecho sobre una base territorial fuertemente concentrada, visible en la distribución de la inversión, la productividad, las patentes, los grupos de investigación y los índices de innovación (OCyT, 2021; Minciencias, 2023; OECD, 2024; WIPO, 2024). El reto deja de ser únicamente la descripción de las brechas para desplazarse hacia el diseño de herramientas analíticas capaces de anticipar trayectorias de divergencia, priorizar intervenciones y evaluar de forma sistemática la equidad territorial de las decisiones públicas.

En este horizonte se inscribe el *framework* RAITE (*Responsible AI for Territorial Equity in CTel*), concebido como un modelo de monitoreo continuo que integra fuentes oficiales, analítica avanzada e instrumentos de evaluación ética para respaldar decisiones informadas y sensibles a las desigualdades espaciales, en línea con los marcos de gobernanza responsable de la IA propuestos por UNESCO (2021); National Institute of Standards and Technology (NIST, 2023); y, WIPO (2024).

RAITE se estructura en cuatro capas interrelacionadas que retoman los indicadores analizados y los amplían con variables socioeconómicas y de conectividad digital. La capa de datos, integra fuentes nacionales de DNP (1991; 1994; 1995; 1999; 2009; 2023); OCyT (2007; 2016; 2020; 2021); Minciencias

(2022; 2023); el Banco de la República de Colombia (2023); y, el Fondo CTel del SGR, junto con fuentes internacionales como *Scopus* (Elsevier, 2023); *Web of Science*, el Instituto de Estadística de la UNESCO (2024); la OECD (2024) y los indicadores del *Global Innovation Index* elaborados por la WIPO (2022; 2024). Esta arquitectura de información permite consolidar series históricas robustas para caracterizar capacidades científicas, estructura productiva y conectividad digital por departamento, y se convierte en el insumo básico sobre el que se despliegan los módulos de analítica.

Sobre este sistema opera la capa de analítica con IA, que incorpora módulos de depuración, normalización y detección de valores extremos; segmentación territorial mediante técnicas de *clustering* que agrupan departamentos en perfiles comparables; y modelos supervisados orientados a estimar probabilidades de avance o retroceso y a simular escenarios de política (Lim et al., 2024; Passas, 2024).

En el componente predictivo, los modelos se dirigen a explicar variaciones anuales de indicadores clave de desempeño territorial —como el cambio del Índice Departamental de Innovación, el crecimiento del número de grupos categorizados en niveles altos, la evolución de la inversión en CTel per cápita o combinaciones sintéticas de estos resultados— mediante algoritmos de ensamble y máquinas de soporte vectorial, que han mostrado buen rendimiento en la predicción de trayectorias de desarrollo regional y de resultados de proyectos territoriales complejos (Gupta et al., 2024; Wu y Levinson, 2024).

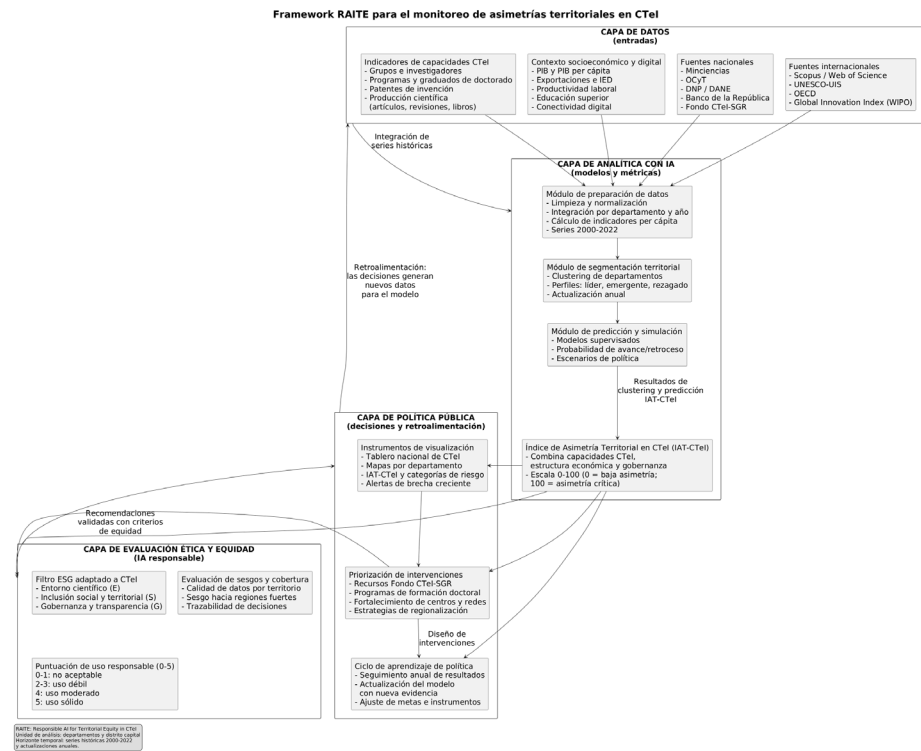
Para reducir el riesgo de sobreajuste en un contexto con un número limitado de unidades espaciales, el *pipeline* analítico incorpora validación cruzada temporal, regularización y particiones consistentes con la naturaleza de los datos de panel, en consonancia con las advertencias metodológicas sobre el uso de *machine learning* en este tipo de bases (Zuleta et al., 2025).

La salida integrada de esta capa es el Índice de Asimetría Territorial en CTel

(IAT-CTel), concebido como un indicador sintético que combina tres dimensiones principales: i) capacidades científicas y tecnológicas (masa de grupos e investigadores, producción científica y patentes); ii) estructura económica y desempeño productivo regional; y, iii) gobernanza e inversión en CTel a escala departamental. Cada dimensión se normaliza inicialmente en una escala 0–1 y posteriormente, se sintetiza mediante técnicas de reducción de la dimensionalidad, como el análisis de componentes principales con tratamiento explícito de la dependencia espacial, que ha demostrado utilidad para construir índices compuestos territorialmente sensibles (Boal-San Miguel y Herrero-Prieto,

2020; Cartone y Postiglione, 2021).

La agregación final del índice combina esquemas de ponderación estadísticos y normativos, contrastando pesos derivados de métodos basados en distancia o contribuciones marginales con ponderaciones igualitarias dentro de cada bloque, en línea con recomendaciones recientes para la construcción y evaluación de la robustez de indicadores compuestos destinados a informar políticas públicas (United Nations Economic Commission for Europe, 2025). La Figura I, sintetiza esta arquitectura técnica y sitúa al IAT-CTel como pieza de enlace entre la capa de analítica y los módulos de decisión.



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Figura I: Framework RAITE para el monitoreo de asimetrías territoriales en CTel mediante IA

En esta fase, RAITE se plantea de manera explícita como un *framework* programático. El énfasis del manuscrito se concentra en describir la arquitectura conceptual, las fuentes de información y los componentes de decisión; mientras que la calibración formal del IAT-CTeI, la estimación sistemática de los modelos supervisados y la validación empírica exhaustiva, se reservan para una agenda de investigación posterior, articulada en un desarrollo metodológico específico. Esta delimitación acota el alcance del estudio y, al mismo tiempo, ofrece una hoja de ruta replicable para futuras implementaciones nacionales o subnacionales del sistema.

La tercera componente del modelo corresponde a la capa de política pública, que traduce los resultados analíticos en instrumentos accionables para gestores nacionales y territoriales. Esta capa incorpora un tablero nacional de CTeI con mapas de riesgo departamental, alertas tempranas de ampliación de brechas y un módulo de priorización de intervenciones que articula instrumentos del Fondo CTeI-SGR, programas de formación doctoral, estrategias de fortalecimiento institucional y esquemas de regionalización de la investigación (Consejo Privado de Competitividad, 2020; 2022; Guzmán, 2021; Pardo y Cotte, 2021a; 2021b).

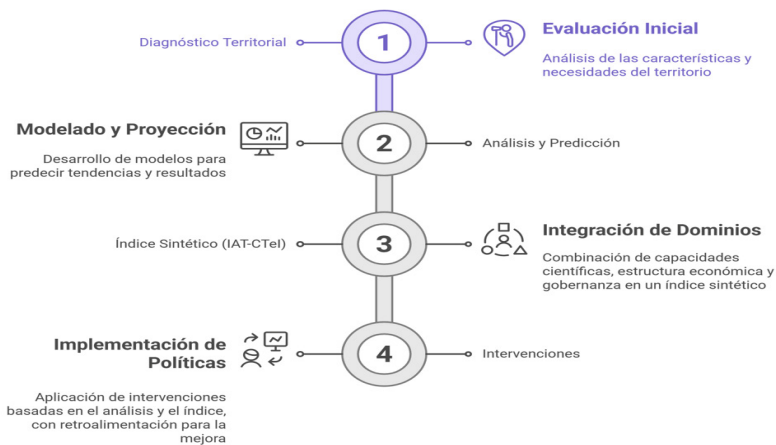
El propósito no se limita a transferir mayores recursos a las regiones rezagadas, sino a identificar combinaciones costo-efectivas de instrumentos bajo restricciones presupuestales y capacidades instaladas, en coherencia con enfoques de política basados en evidencia y ciclos de aprendizaje adaptativo (Ullah et al., 2022; Lim et al., 2024).

Finalmente, RAITE incorpora una capa de evaluación ética y de equidad, inspirada

en marcos recientes de IA responsable y en la integración de criterios ESG en sistemas algorítmicos (UNESCO, 2021; NIST, 2023; WIPO, 2024). Esta capa aplica un filtro de responsabilidad territorial que examina sesgos de cobertura, posibles favorecimientos estructurales hacia regiones ya consolidadas, trazabilidad de las decisiones y consistencia de los criterios utilizados. El nivel de uso responsable se estima en una escala que va de “no aceptable” a “uso sólido”, combinando calidad de la información por territorio, equidad en la priorización y transparencia procedimental.

Con este componente, RAITE deja de ser únicamente un sistema de inteligencia analítica y se configura como un dispositivo de gobernanza que obliga a documentar supuestos, valorar impactos distributivos y ajustar periódicamente los algoritmos conforme evoluciona la evidencia y se actualizan los estándares éticos internacionales.

La Figura II, resume el flujo operativo del modelo y explica la correspondencia entre sus etapas y las capas de la arquitectura. El paso 1, centrado en el diagnóstico territorial, se asocia con la capa de datos, donde se integran y depuran las series históricas por departamento. El paso 2, de modelado y proyección, refleja el funcionamiento de la capa de analítica con IA, responsable de la segmentación territorial, la predicción y la generación de escenarios. El paso 3, dedicado a la integración de dominios y al índice sintético, condensa la articulación del IAT-CTeI a partir de capacidades científicas, estructura económica y gobernanza, y enlaza directamente con los instrumentos de visualización y priorización de la capa de política pública.



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Figura II: Flujo operativo del modelo RAITE: diagnóstico, modelado, integración del IAT-CTel e implementación de políticas

El paso 4, enfocado en la implementación de políticas, abarca tanto la ejecución de las intervenciones priorizadas como su evaluación ética y de equidad, cerrando el ciclo de aprendizaje e incorporando nueva evidencia al sistema. La relación entre las Figuras I y II, muestra cómo la arquitectura formal de RAITE se traduce en un proceso operativo que vincula diagnóstico empírico, predicción, decisión y evaluación ética en un bucle de mejora continua.

RAITE transforma el diagnóstico empírico de las asimetrías territoriales en un mecanismo operativo de monitoreo y aprendizaje de política. El uso sistemático de series históricas ya disponibles, articulado con modelos de IA responsable y con una capa explícita de evaluación ética, abre una vía concreta para pasar de la identificación descriptiva de desigualdades a un ciclo iterativo de intervención orientado al cierre progresivo de las brechas territoriales en CTel.

Conclusiones

La evolución del sistema colombiano de

CTel entre 2000 y 2022 muestra una expansión significativa de la base científica nacional. El aumento del número de investigadores, la consolidación de grupos clasificados y el crecimiento sostenido de la producción científica de alto impacto evidencian que las políticas de formación doctoral y fortalecimiento institucional se tradujeron en capacidades reales. Este avance no se limitó a los polos históricos —Bogotá-Cundinamarca, Antioquia, Valle del Cauca, Santander y Atlántico—, sino que también benefició a territorios intermedios como Bolívar, Caldas y Risaralda, que lograron estabilizar trayectorias propias de investigación. Aun así, persiste un conjunto de once departamentos con menos de cincuenta grupos y con los niveles más bajos de inversión en ACTI e I+D, lo que indica que la expansión del sistema no ha sido suficiente para revertir las brechas territoriales heredadas.

La desigualdad territorial se expresa con nitidez en el Índice Departamental de Innovación. Solo nueve departamentos se ubican en niveles altos o medio-altos; catorce se concentran en rangos intermedios y nueve permanecen en niveles bajos. La distancia

entre territorios como Bogotá-Cundinamarca y Antioquia frente a regiones como Chocó, La Guajira, Vaupés o Vichada continúa siendo estructural y limita la posibilidad de distribuir de manera equilibrada los beneficios sociales y económicos de la ciencia.

En el plano macroeconómico, el periodo 2000–2022 registra avances considerables, aunque acompañados de tensiones internas. El PIB pasó de 99.880 a 343.940 millones de dólares —un incremento del 244%—; el PIB per cápita aumentó 160%; las exportaciones crecieron 333% y la inversión extranjera directa se multiplicó por seis. Sin embargo, las importaciones crecieron 569%, superando ampliamente el ritmo exportador y mostrando que las capacidades científicas acumuladas aún no se reflejan en una transformación productiva capaz de disminuir la dependencia tecnológica externa.

El liderazgo científico continúa concentrado en un núcleo reducido de instituciones —entre ellas la Universidad Nacional, los Andes, Antioquia y la Javeriana— que sostienen la mayor parte de la visibilidad internacional del país. La consolidación de estos polos convive con periferias científicas persistentes, caracterizadas por brechas de infraestructura, limitaciones de financiamiento y menores oportunidades de formación doctoral, lo que refuerza patrones de desigualdad difícilmente corregibles sin intervenciones de alcance estructural.

En este escenario, el *framework* RAITE constituye un mecanismo operativo para avanzar desde diagnósticos descriptivos hacia procesos sistemáticos de análisis, anticipación y acción. La integración de series históricas, indicadores socioeconómicos y módulos de analítica basados en IA permite calcular un Índice de Asimetría Territorial en CTeI, clasificar los departamentos en trayectorias de liderazgo, emergencia o rezago, y proyectar escenarios alternativos bajo distintos niveles de inversión e intervención pública. Esta aproximación abre la posibilidad de orientar recursos hacia los territorios más rezagados, monitorear el cierre de brechas en ciclos anuales y establecer la equidad territorial

como un criterio evaluable del desempeño de la política científica.

En conjunto, Colombia ha consolidado un sistema de CTeI más amplio, más productivo y con mayor inserción internacional, pero su desarrollo sigue condicionado por desigualdades territoriales profundas. La próxima generación de políticas deberá articular incrementos sostenidos de inversión con instrumentos analíticos como RAITE, capaces de respaldar decisiones basadas en evidencia y de sostener una estrategia de equidad territorial progresiva, verificable y ajustable en el tiempo.

Referencias bibliográficas

- Asprilla-Perea, J., Mosquera-Perea, D. E., Trujillo-Cabezas, R., y Rentería, L. M. (2023). Evaluación de una estrategia de planificación de la ciencia, la tecnología y la innovación con enfoque territorial para el bienestar económico, social y ambiental de Colombia. *Interciencia*, 48(6), 284–293. https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2023/07/01_6978_Com_Mosquera_v48n6_10.pdf
- Banco de la República de Colombia (2023). Estadísticas económicas. *Banco de la República de Colombia*. <https://www.banrep.gov.co/es/estadisticas>
- Boal-San Miguel, I., y Herrero-Prieto, L. C. (2020). Reliability of Creative Composite Indicators with Territorial Specification in the EU. *Sustainability*, 12(8), 3070. <https://doi.org/10.3390/su12083070>
- Camacho, L. M. (2016). *La ciencia, tecnología e innovación en Colombia 1990–2015: Un enfoque institucional* [Tesis de pregrado, Universidad de La Salle].
- Cartone, A., y Postiglione, P. (2021). Principal component analysis for geographical data: the role of spatial effects in the

- definition of composite indicators. *Spatial Economic Analysis*, 16(2), 126-147. <https://doi.org/10.1080/17421772.2020.1775876>
- Chalela-Naffah, S., y Rodríguez-Gómez, D. (2020). Caracterización del profesorado con perfil investigador en universidades colombianas. *Revista Electrónica Educare*, 24(3), 1-20. <https://doi.org/10.15359/ree.24-3.17>
- Consejo Privado de Competitividad - CPC (2020). *Informe nacional de competitividad 2018–2019*. CPC. <https://santandercompetitivo.org/media/cb-55593d4f5858792781114d7a845a8a-8f98f177.pdf>
- Consejo Privado de Competitividad - CPC (2022). *Informe nacional de competitividad 2021–2022: Ciencia, tecnología e innovación*. <https://compite.com.co/wp-content/uploads/ca4dda5f-fde8-4548-97df-d691a391f7bd.pdf>
- Cortés, J. D., y Ramírez-Cajiao, M. C. (2023). The content structure of science technology and innovation policy—Applying co-word analysis to funding calls in Colombia. In I. Sserwanga, A. Goulding, H. Moulaison-Sandy, J. T. Du, A. L. Soares, V. Hessami, R. D. Frank (Eds.), *Information for a Better World: Normality, Virtuality, Physicality, Inclusivity*. 18th International Conference, iConference 2023, Virtual Event, March 13–17, 2023, *Proceedings, Part I* (Vol. 13971, pp. 187–196). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-28035-1_14
- Decreto 393 de 1991. Por el cual se dictan normas sobre asociación para actividades científicas y tecnológicas, proyectos de investigación y creación de tecnologías. 8 de febrero de 1991.
- Decreto 585 de 1991. Por el cual se crea el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, se reorganiza el Instituto Colombiano para el desarrollo de la Ciencia y la Tecnología - Colciencias - y se dictan otras disposiciones. 26 de febrero de 1991. D.O. No. 39.702.
- Decreto 591 de 1991 [con fuerza de ley]. Por el cual se regulan las modalidades específicas de contratos de fomento de actividades científicas y tecnológicas. 26 de febrero de 1991. D.O. No. 39.702.
- Departamento Nacional de Planeación - DNP (1991). *La revolución pacífica: Plan de Desarrollo Económico y Social 1990-1994*. DNP. https://colaboracion.dnp.gov.co/cdt/pnd/gaviria_prologo.pdf
- Departamento Nacional de Planeación - DNP (1994). *CONPES 2739: Política Nacional de Ciencia y Tecnología*. Documento CONPES 2739 - COLCIENCIAS-DNP: UDE. DNP. <https://minciencias.gov.co/sites/default/files/upload/reglamentacion/conpes-2739.pdf>
- Departamento Nacional de Planeación - DNP (1995). *El Salto Social: Plan Nacional de Desarrollo: Ley de inversiones 1994-1998*. DNP. https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/PND/Samper_fundamentos_plan.pdf
- Departamento Nacional de Planeación - DNP (1999). *Plan Nacional de Desarrollo 1998-2002: Cambio para construir la Paz. Tomo I*. DNP. https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/PND/Pastrana2_Contexto_Cambio.pdf
- Departamento Nacional de Planeación - DNP (2000). *Política Nacional de Ciencia y Tecnología 2000-2002*. Documento CONPES 3080. DNP. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3080.pdf>
- Departamento Nacional de Planeación - DNP (2002). *Política Integral de Apoyo a los*

- Programas de Doctorado Nacionales*. Documento CONPES 3179. DNP. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3179.pdf>
- Departamento Nacional de Planeación - DNP (2009). *Política Nacional de Ciencia y Tecnología*. Documento CONPES 3582. DNP. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3582.pdf>
- Departamento Nacional de Planeación - DNP (2015a). *Lineamientos de Política para Estimular la Inversión Privada en Ciencia, Tecnología e Innovación a través de Deducciones Tributarias*. Documento CONPES 3834. DNP. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3834.pdf>
- Departamento Nacional de Planeación - DNP (2015b). *Declaración de Importancia Estratégica del Proyecto de Apoyo a la Formación del Capital Humano Altamente Calificado en el Exterior*. Documento CONPES 3835. DNP. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3835.pdf>
- Departamento Nacional de Planeación - DNP (2019). *Declaración de Importancia Estratégica del Proyecto "Capacitación de Recursos Humanos para la Investigación Nacional"*. Documento CONPES 3981. DNP. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3981.pdf>
- Departamento Nacional de Planeación - DNP (2021). *Política Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación 2022 2031*. Documento CONPES 4069. DNP. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/4069.pdf>
- Departamento Nacional de Planeación - DNP (2023). *Plan general de desarrollo económico y social (1961-1970)* - Alberto Lleras Camargo. DNP. <https://www.dnp.gov.co/plan-nacional-desarrollo/Paginas/desarrollo-economico-y-social-1961-1970-alberto-lleras-camargo.aspx>
- Departamento Nacional de Planeación (DNP) y Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología (OCyT) – DNP y OCyT (2022). *IDIC 2021: Índice Departamental de Innovación para Colombia*. DNP y OCyT. https://ocyt.org.co/wp-content/uploads/2022/04/IDIC_2021_Documento.pdf
- Elsevier (2023). *Elsevier Scopus APIs: Getting Started Guide Version 1*. Elsevier. https://dev.elsevier.com/guides/Scopus%20API%20Guide_V1_20230907.pdf
- Escobar-Toledo, L., Angulo-Cuentas, G., y Galvis-Lista, G. (2022). Measurement of indicators of science, technology and innovation in official universities of Colombia. *2022 Congreso Internacional de Innovación y Tendencias en Ingeniería (CONIITI)*, Bogotá, Colombia, 1–7. <https://doi.org/10.1109/CONIITI57704.2022.9953719>
- Gómez-Vargas, M., y García, M. (2015). Factores influyentes de la gestión del conocimiento en el contexto de la investigación universitaria. *Información, Cultura y Sociedad*, (33), 29-46.
- Gupta, R., Sharma, A., y Alam, T. (2024). Building Predictive Models with Machine Learning. In P. Singh, A. R. Mishra y P. Garg (Eds.), *Data Analytics and Machine Learning. Studies in Big Data* (Vol. 145, pp 39–59). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-97-0448-4_3
- Guzman, C. L. (2021). Propiedad intelectual y acceso al conocimiento

- en la investigación científica colombiana. *Revista Guillermo de Ockham*, 17(1), 51-63. <https://doi.org/10.21500/22563202.3374>
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, M. D. P. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill/ Interamericana Editores S.A. de C.V.
- Instituto de Estadística de la UNESCO (2024). *Integración de estadísticas: desafíos y soluciones a futuro*. Instituto de Estadística de la UNESCO. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000389807_sp4
- Jaramillo, H. (1996). Towards a new observatory for science and technology in Colombia. *Research Evaluation*, 6(3), 201-204. <https://doi.org/10.1093/rev/6.3.201>
- Ley 29 de 1990. *Por la cual se dictan disposiciones para el fomento de la investigación científica y el desarrollo tecnológico y se otorgan facultades extraordinarias*. 27 de febrero de 1990.
- Ley 286 de 1996. *Por la cual se modifica la estructura y funciones del Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología “Francisco José de Caldas” – Colciencias*. 19 de julio de 1996. D.O. No. 42.708.
- Ley 1286 de 2009. *Por la cual se modifica la Ley 29 de 1990, se transforma a Colciencias en Departamento Administrativo, se fortalece el Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación en Colombia y se dictan otras disposiciones*. 23 de enero de 2009. D.O. No. 47.241.
- Ley 2162 de 2021. *Por la cual se transforma el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación – Colciencias en el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación*. 30 de diciembre de 2021. D.O. No. 51.863.
- Lim, W. M., Kumar, S., y Donthu, N. (2024). How to combine and clean bibliometric data and use bibliometric mapping tools. *Journal of Business Research*, 182, 114760. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2024.114760>
- Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación - Minciencias (2022). *Science in figures: General statistics on groups and researchers*. Minciencias. <https://minciencias.gov.co/la-ciencia-en-cifras/estadisticas-generales>
- Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación - Minciencias (2023). *La ciencia en cifras: Ficha departamental de indicadores CTEI*. Minciencias. <https://minciencias.gov.co/la-ciencia-en-cifras/ficha-departamental-indicadores-ctei>
- Monson, H., Demaine, J., Perryman, A., y Felfeli, T. (2024). Bibliometric analysis of the 3-year trends (2018–2021) in literature on artificial intelligence in ophthalmology and vision sciences. *BMJ Health & Care Informatics*, 31(1), e100780. <https://doi.org/10.1136/bmjhci-2023-100780>
- Moreno-López, G., Giraldo, L. M., Gómez-Bayona, L., y Rojas, J. M. (2022). Knowledge production in universities: an analysis based on human capital theory, a case of accredited HEIs in Colombia. In Á. Rocha, C. H. Fajardo-Toro y J. M. R. Rodríguez (Eds.), *Developments and Advances in Defense and Security. Smart Innovation, Systems and Technologies* (Vol. 255. pp. 529–539). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-16-4884-7_44
- National Institute of Standards and Technology - NIST (2023). *Artificial Intelligence Risk Management Framework (AI RMF 1.0)*. NIST. <https://doi.org/10.6028/NIST.AI.100-1>

- Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología - OCyT (2007). *Indicadores de Ciencia y Tecnología: Colombia 2007*. OCyT. https://ocyt.org.co/wp-content/uploads/2021/06/ocyt_indicadores_2007.pdf
- Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología - OCyT (2016). *Indicadores de Ciencia y Tecnología: Colombia 2016*. OCyT. https://ocyt.org.co/wp-content/uploads/2021/06/indicadores-2016_web.pdf
- Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología-OCyT(2020). *Indicadores de Ciencia, Tecnología e Innovación: Colombia 2020*. OCyT. <https://ocyt.org.co/indicadoresctei2020.ocyt.org.co/Informe%20Indicadores%20CTeI%202020%20v1.pdf>
- Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología-OCyT(2021). *Indicadores de Ciencia, Tecnología e Innovación: Colombia 2021*. OCyT. https://ocyt.org.co/wp-content/uploads/2023/06/Informe_indicadores_OCyT_2021.pdf
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura - UNESCO (2021). *Recomendación sobre la ética de la inteligencia artificial*. UNESCO. <https://digitallibrary.un.org/record/4062376?v=pdf>
- Organisation for Economic Co-operation and Development - OECD (2024). *OECD Economic Surveys: Colombia 2024*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/a1a22cd6-en>
- Pardo, C. I., y Cotte, A. (2021a). Science, technology, innovation, theory and evidence: The new institutionalism in Colombia. *Quality & Quantity*, 55, 845-876. <https://doi.org/10.1007/s11135-020-01032-3>
- Pardo, C. I. y Cotte, A. (2021b). The importance of science, technology and innovation in the green growth and sustainable development goals of Colombia. *Environmental and Climate Technologies*, 25,(1), 29-41. <https://doi.org/10.2478/rtuct-2021-0003>
- Paredes-Chacín, A. J., Inciarte, A., y Walles-Peñaloza, D. (2020). Educación superior e investigación en Latinoamérica: Transición al uso de tecnologías digitales por Covid-19. *Revista de Ciencias Sociales (Ve)*, XXVI(3), 98-117. <https://doi.org/10.31876/rcs.v26i3.33236>
- Passas, I. (2024). Bibliometric analysis: The main steps. *Encyclopedia*, 4(2), 1014-1025. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia4020065>
- Pinedo-López, J., Baena-Navarro, R., Durán-Rojas, N., Díaz-Cogollo, L., y Farak-Florez, L. (2024). Energy transition in Colombia: An implementation proposal for SMEs. *Sustainability*, 16(17), 7263. <https://doi.org/10.3390/su16177263>
- Pinedo-López, J., Baena-Navarro, R., y Torres-Hoyos, F. (2025). Science, technology and innovation in Colombia: Impact of the relationships between enterprises, government and universities. *Science, Technology and Society*, 30(2), 363-385. <https://doi.org/10.1177/09717218251326826>
- Pinedo-López, J., Lora-Ochoa, C., Anaya-Narváez, A., Baena-Navarro, R., y Torres-Hoyos, F. (2024b). Development plans in Colombia: Social and economic progress from 1961 to 2022. *Journal of Infrastructure, Policy and Development*, 8(8), 4554. <https://doi.org/10.24294/jipd.v8i8.4554>
- Piña, L. E., y Senior, A. (2020). Estudio de la ciencia, tecnología e innovación desde perspectivas multitécnicas. *Revista de Ciencias Sociales (Ve)*, XXVI(3), 312-326. <https://doi.org/10.31876/rcs.v26i3.33251>

- Presidencia de la República (1996). *Colombia: al filo de la oportunidad. Misión Ciencia, Educación y Desarrollo: Tomo 1. Presidencia de la República – Colciencias*. https://proxse16.univalle.edu.co/~secretariageneral/consejo-academico/temasdediscusion/2014/Documentos_de_interes_general/Colombia_al_filo_de_la_Oportunidad.pdf
- Torres, J. C., Barros, J., Villasmil, M. D. C., y Socorro, C. C. (2020). Beneficios tributarios para proyectos de ciencia, tecnología e innovación en Colombia. *Revista de Ciencias Sociales*, 26(2), 107-119. <https://doi.org/10.31876/rcs.v26i2.32427>
- Ullah, F., Salam, A., Abrar, M., Ahmad, M., Ullah, F., Khan, A., Alharbi, A., y Alosaimi, W. (2022). Machine Health Surveillance System by Using Deep Learning Sparse Autoencoder. *Soft Computing*, 26(16), 7737 – 7750. <https://doi.org/10.1007/s00500-022-06755-z>
- United Nations Economic Commission for Europe - UNECE (2024). *Guidelines on measurement of well-being*. United Nations. https://unece.org/sites/default/files/2025-10/2512819_E_PDF_WEB_0.pdf
- Vernaza, G., Medina, E. P., y Chamorro, J. (2020). Innovación, emprendimiento e investigación científica. *Revista de Ciencias Sociales (Ve)*, XXVI(3), 163-174. <https://doi.org/10.31876/rcs.v26i3.33240>
- World Intellectual Property Organization OMPI – WIPO (2022). *Global Innovation Index 2022: What is the Future of Innovation-driven Growth?*. WIPO. <https://doi.org/10.34667/tind.46596>
- World Intellectual Property Organization - WIPO (2024). *Global Innovation Index 2024: Executive version*. WIPO. <https://www.wipo.int/publications/en/details.jsp?id=4758>
- Wu, H., y Levinson, D. (2024). The ensemble approach to forecasting: A review and synthesis. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 132, 103357, <https://doi.org/10.1016/j.trc.2021.103357>
- Zuleta, D. F., Bru, O. E., y Pastor, K. S. (2025). Validación Cruzada: una herramienta crucial para mejorar la eficiencia de modelos de clasificación con datos biomédicos. *Comunicaciones en Estadística*, 18(1), 51-85. <https://doi.org/10.15332/23393076.11214>