

Documento Técnico de Soporte del programa Bogotá científica

Agencia para la Educación Superior, la Ciencia y
la Tecnología -Atenea Gerencia de Estrategia

2026



Equipo directivo Agencia Atenea

Diego Escallón Arango
Director General (E)

Juanita Carolina Bodmer Rico
Gerente de Estrategia

Rubith Tuberquia Avendaño
Gerente de Educación Posmedia

Adriana Marcela Gutiérrez Castañeda
Gerente Ciencia Tecnología e Innovación

Diana Consuelo Blanco Garzón
Gerente de Gestión Corporativa

Autoras

Ana Paola Cruz Rodriguez
Laura Alejandra Hernandez Carvajal
Luisa Fernanda Torres García
Juanita Carolina Bodmer Rico
Juan Sebastian Contreras Bello

Equipo Gerencia CTI

Oscar Gualdrón Gonzalez
Henry Mora
Víctor Manuel Pallares
Natalia Giraldo Marroquin
Emmanuel Quiroga
Luis Camilo Caicedo

Diagramación y diseño

Lina Maria Gernas Bonilla

Abril de 2026. Bogotá, Colombia

Contenido

1.	Resumen ejecutivo	3
2.	Introducción.....	4
3.	Antecedentes	5
3.1.	Definiciones.....	5
3.2.	Marco teórico.....	10
3.2.1.	Macro: Ciencia e innovación en la economía del conocimiento	10
3.2.2.	Meso: Modelos de producción de conocimiento e integración de actores CTel 17	
3.2.3.	Micro: El proceso de maduración de la CTel	25
3.3.	Experiencias internacionales.....	30
3.3.1.	Experiencias de otros países.....	31
3.3.2.	Experiencias de ciudades a nivel mundial	34
3.4.	Medidas y estrategias nacionales y distritales en Colombia	37
3.4.1.	Medidas nacionales.....	38
3.4.2.	Medidas distritales.....	40
4.	Diagnóstico	41
4.1.	Efectos económicos y sociales	42
4.1.1.	Efectos económicos	43
4.1.2.	Efectos sociales	54
4.2.	Condiciones sistémicas del sector CTel en Bogotá y el ecosistema científico distrital 59	
4.2.1.	Articulación del ecosistema CTel en Bogotá	60
4.2.2.	Financiación del ecosistema CTel en Bogotá y la Nación	61
4.2.3.	Capacidades del ecosistema CTel en Bogotá.....	65
4.2.4.	Política pública, regulación e incentivos del ecosistema CTel	71
4.2.5.	Resultados de investigación.....	73

Contenido

5.	Estrategia Atenea - Bogotá Científica.....	76
5.1.	Contexto - Codecti	78
5.2.	Sectores priorizados.....	78
5.2.1.	Economía circular y sostenibilidad	80
5.2.2.	Medicina y ciencias de la salud	82
5.2.3.	Bioeconomía y bioagricultura	84
5.2.4.	Industrias culturales y creativas	86
5.2.5.	Elemento Transversal: Inteligencia Artificial, Industrias 4.0 e Industrias convergentes.....	88
5.3.	Líneas de acción e instrumentos	91
5.3.1.	Ecosistemas Científicos	91
5.3.2.	Retos de investigación	96
5.3.3.	Formación alto nivel	98
6.	Conclusiones y recomendaciones	100
7.	Referencias	101

1. Resumen ejecutivo

El Documento Técnico de Soporte (DTS) de Bogotá Científica define los fundamentos conceptuales y diagnósticos del programa con el que la Agencia Distrital Atenea busca dar pasos hacia la consolidación de un ecosistema de ciencia, tecnología e innovación (CTel) capaz de transformar la estructura económica de Bogotá y generar bienestar social. El documento se apoya en un marco teórico que concibe la CTel como motor de desarrollo y equidad, retomando enfoques de las economías del conocimiento (Romer), la innovación endógena y schumpeteriana (Aghion y Howitt) y las políticas misionales (Mazzucato), que subrayan el papel del Estado y de las alianzas público–privadas para orientar la investigación hacia el desarrollo económico y social. Esta perspectiva plantea que el crecimiento no depende solo de la acumulación de capital físico, sino de la capacidad de una sociedad para producir, aplicar y transferir conocimiento de manera articulada.

En ese contexto, el diagnóstico muestra que la estructura productiva de Bogotá sigue dominada por servicios tradicionales de baja intensidad tecnológica, con una industria manufacturera que ha perdido participación en el PIB y un patrón de especialización basado en actividades comerciales, inmobiliarias y financieras. La productividad ha crecido principalmente por expansión del empleo y no por innovación, y las exportaciones se concentran en bienes intermedios y de consumo, mientras las importaciones corresponden a bienes de capital y alta tecnología. Ello configura una dependencia tecnológica que impide a la ciudad consolidarse como un nodo de ciencia e innovación.

El DTS identifica cinco causas estructurales que explican la desconexión entre la ciencia y la actividad económicas de la ciudad: i) baja articulación entre actores del ecosistema y ausencia de mecanismos de gobernanza estables; ii) esquemas de financiación fragmentados y de corto plazo; iii) capacidades científicas concentradas y con débil orientación aplicada; iv) escasa conversión de conocimiento en innovación y propiedad intelectual; y v) marcos regulatorios y de incentivos que no promueven la inversión privada ni la cooperación universidad–empresa–Estado.

Frente a estas limitaciones, el Consejo Distrital de CTel (CODECTI) priorizó cinco sectores estratégicos:

- Economía circular y sostenibilidad, que responde a los retos ambientales de la ciudad y aprovecha capacidades en ingeniería y ciencias de la tierra, aunque con baja transferencia tecnológica.
- Ciencias de la salud, el campo más consolidado del ecosistema, con alta producción científica y potencial en biotecnología y salud digital.
- Bioeconomía y bioagricultura, con potencial para diversificar la economía mediante biotecnologías aplicadas, pero aún con escasa articulación con el sector productivo.
- Industrias culturales y creativas, que combinan valor simbólico, cohesión social y oportunidades en convergencia digital.
- Inteligencia artificial, industrias 4.0 y tecnologías convergentes, como habilitador transversal de la transformación tecnológica y la productividad.

A partir de este marco teórico y diagnóstico, el programa Bogotá Científica se estructura en tres líneas de acción: (i) Ecosistemas Científicos, que financian programas colaborativos de I+D+i entre academia, empresa, gobierno y sociedad; (ii) Retos de Investigación, orientados a resolver desafíos urbanos y sociales; y (iii) Fortalecimiento de la investigación doctoral, para consolidar el talento científico del Distrito. Su implementación se apoya en mecanismos innovadores de cofinanciación y en lineamientos técnicos para la conformación de alianzas sostenibles.

2. Introducción

El fortalecimiento de la ciencia, la tecnología y la innovación (CTel) en Bogotá constituye una prioridad estratégica para el desarrollo sostenible, equitativo y competitivo de la ciudad. En consonancia con el Plan Distrital de Desarrollo 2024–2027 “Bogotá camina segura”, Bogotá avanza en la consolidación de una ciudad del conocimiento, donde la generación y aplicación del saber científico se traduzca en bienestar social, productividad y soluciones sostenibles a los desafíos urbanos y regionales. En este marco, la Agencia Distrital para la Educación Superior, la Ciencia y la Tecnología – ATENEA, como entidad articuladora del ecosistema distrital de CTel, lidera la formulación e implementación del programa Bogotá Científica, una apuesta integral para potenciar la investigación, el desarrollo tecnológico y la innovación con enfoque territorial y multisectorial.

Este Documento Técnico de Soporte (DTS) tiene como propósito definir los fundamentos conceptuales y diagnósticos de Bogotá Científica. Para ello, el DTS se estructura en cinco secciones: la primera es esta introducción; la segunda presenta los antecedentes y el marco teórico; la tercera desarrolla el diagnóstico del ecosistema de CTel; la cuarta describe la estructura y líneas de acción del programa Bogotá Científica; y la quinta concluye y hace unas recomendaciones para el futuro del programa.

3. Antecedentes

En esta sección se exponen los principales referentes teóricos y las experiencias internacionales que orientan su formulación, así como los instrumentos de política pública nacional y distrital que le dan soporte institucional. La sección se estructura en cuatro apartados: las definiciones básicas, el marco teórico, las experiencias internacionales y un breve recorrido por la política pública nacional y distrital que precede a esta iniciativa.

3.1. Definiciones

En el contexto de las políticas públicas, las definiciones fijan un marco terminológico y orientan la acción institucional, los instrumentos de política y los criterios de evaluación de los resultados. Por ello, esta sección ofrece una aproximación analítica a los conceptos que articulan la estrategia, situándolos tanto en su evolución teórica como en su aplicación dentro de la gestión pública distrital.

- **Conocimiento**

El concepto de conocimiento constituye el punto de partida para comprender la lógica y la función de la CTel en el desarrollo de los territorios. Desde una perspectiva epistemológica, el conocimiento puede definirse como el conjunto de representaciones, ideas y saberes que los individuos y las sociedades elaboran para interpretar, explicar y transformar la realidad (Bunge, 1983). A diferencia de la información, que describe hechos o datos, el conocimiento implica procesos de interpretación, validación y aplicación, sustentados en la experiencia, el razonamiento y la interacción social. En este sentido, el conocimiento no es estático ni neutral, sino que se construye de manera colectiva, evoluciona con el tiempo y refleja las condiciones culturales, históricas y materiales de cada sociedad.

En el marco de las políticas públicas de CTel, el conocimiento se asume como un activo intangible y un bien público que, cuando se gestiona adecuadamente, impulsa la productividad, la innovación y la cohesión social. Autores como Foray (2004) y David y Foray (2002) sostienen que el tránsito hacia las economías basadas en el conocimiento transforma la naturaleza del crecimiento económico, al desplazar el peso del capital físico hacia los procesos de aprendizaje, la investigación y la difusión tecnológica. En estas economías, el conocimiento se convierte en la fuente principal de valor agregado, y su distribución equitativa es condición para el desarrollo sostenible.

Como se verá más adelante, desde la perspectiva de la teoría del crecimiento endógeno, Romer (1990) y Lucas (1988) argumentan que la acumulación de conocimiento produce rendimientos crecientes, al expandir las posibilidades de innovación y aumentar la productividad del trabajo

y del capital. Este enfoque sitúa al conocimiento como un bien no rival y parcialmente excluible, cuya generación requiere intervención pública para superar fallas de mercado y promover la inversión sostenida en investigación.

Asimismo, Nonaka y Takeuchi (1995) destacan que la creación de conocimiento en las organizaciones se basa en la conversión continua entre conocimiento tácito y explícito, proceso conocido como espiral del conocimiento. Esta dinámica, que pasa por la socialización, externalización, combinación e internalización, evidencia que la innovación surge cuando las instituciones logran articular la experiencia individual con la sistematización colectiva, generando nuevos saberes aplicables.

- **Ciencia**

La ciencia es una herramienta para comprender la realidad mediante observación, experimentación y formulación de teorías. Más que acumular saberes, implica una búsqueda constante de explicaciones verificables y revisables (Popper, 1959; Bunge, 1959). Desde la filosofía de la ciencia, su valor reside en la crítica y la autoinvalidación: el conocimiento progresa eliminando errores, no confirmando verdades. Esta lógica de *falsabilidad* y revisión continua fundamenta la necesidad de políticas que incentiven la transparencia, la evaluación entre pares y la replicabilidad de resultados.

Bunge (1959) complementa esta visión al entender la ciencia como un sistema racional y falible que amplía la comprensión del mundo; Kuhn (1962) introduce el carácter social e histórico del cambio científico, mostrando que el conocimiento avanza por sustitución de paradigmas. De ahí la importancia de promover investigación de frontera que cuestione los marcos dominantes y abra nuevas trayectorias de desarrollo.

Lakatos (1970) propuso ver la ciencia como programas de investigación con núcleos teóricos estables y componentes flexibles que se ajustan a la evidencia. La política científica, desde esta óptica, debe evaluar no solo la cantidad de resultados (artículos o patentes) sino la capacidad de las líneas de investigación para expandir la frontera del conocimiento y generar innovación.

Latour y Woolgar (1979) recordaron que los hechos científicos son construcciones colectivas: surgen de la interacción entre investigadores, instituciones, tecnologías y sistemas de financiamiento. Por ello, fortalecer la ciencia no implica solo financiar proyectos, sino consolidar ecosistemas institucionales que posibiliten colaboración y sostenibilidad.

En la práctica, la OCDE (2015) distingue tres niveles que guían las estrategias de CTel: investigación básica (generación de conocimiento), aplicada (solución de problemas concretos) y desarrollo experimental (transformación de ese conocimiento en bienes, procesos o servicios)¹.

¹ Esta tipología no solo organiza las actividades de investigación, sino que también sugiere distintos horizontes para la política pública. La investigación básica demanda financiamiento estable y de largo plazo, mientras la aplicada y el desarrollo experimental requieren esquemas de cofinanciación con el sector productivo y mecanismos de transferencia tecnológica.

- **Tecnología**

La expresión tecnología viene del griego *téchne*, que hace referencia a técnicas u oficios, y *logos*, que significa conocimiento. El concepto está formado como el conjunto de saberes que permiten desarrollar oficios o aplicar determinadas técnicas para ejecutar tareas. Diversos autores (Quintanilla, 1989; Ortega y Gasset 1939; Saavedra et.al., 2020) diferencian entre los conceptos de técnica y tecnología, donde la primera se refiere a aquellas prácticas artesanales precientíficas, y la segunda a prácticas industriales asociadas a conocimiento científico.

La tecnología se puede entender como un proceso ex ante o ex post a la ciencia. Gortari (1984) plantea que la tecnología es más antigua que la ciencia, y que no fue sino hasta la Primera Revolución Industrial que la ciencia generó impactos sobre la tecnología, y luego “los resultados de la investigación científica sirvieron de base para la creación y el desarrollo de ramas industriales enteramente nuevas, como la industria química y la eléctrica, por ejemplo. Al mismo tiempo la ciencia seguía progresando bajo el impulso de las necesidades tecnológicas y aprovechando los aparatos e instrumentos puestos a su disposición por el avance de la técnica” (Gortari, 1984, p.47).

Desde un punto de vista epistemológico, la tecnología se distingue de la ciencia por su finalidad instrumental. Mientras la ciencia busca explicar, la tecnología busca transformar. Levinson (1997) describe la tecnología como la forma de organizar y reorganizar materiales y herramientas de acuerdo con teorías, prácticas y conocimiento científico, ubicándola como un proceso que resulta de la ciencia y de la generación de conocimiento. Otras posturas internacionales como las de UNESCO, definen la tecnología como “el saber hacer y el proceso creativo que puede utilizar recursos, herramientas y sistemas para resolver problemas y para acrecentar el control sobre el ambiente natural y artificial, con el propósito de mejorar la condición humana” (Ferreya, 1994, p.2).

Estas aproximaciones guardan similitud en cuanto a la conexión entre tecnología y ciencia, planteando una relación complementaria donde la generación de conocimiento a través de métodos científicos se corresponde con el desarrollo de nuevas tecnologías que permitan contribuir al desarrollo humano, para atender necesidades y como camino a la innovación y transformación de la realidad.

En términos económicos y de política pública, la literatura de los sistemas de innovación ha mostrado que la tecnología cumple un papel central en la dinámica de crecimiento y competitividad. Nelson y Winter (1982) y Lundvall (1992) coinciden en que el progreso tecnológico no surge de manera espontánea, sino de interacciones institucionales y aprendizajes acumulativos entre empresas, universidades, centros de investigación y el Estado. Estos sistemas combinan dos fases complementarias: 1) la generación tecnológica, que abarca las actividades de investigación, desarrollo y creación de conocimiento aplicada la capacidad de los individuos, organizaciones o sectores para incorporar, adaptar y difundir tecnologías existentes (Rogers, 2003; Hall & Khan, 2003). Sin una base científica sólida, la generación se

estanca, sin capacidades organizacionales y humanas, la adopción se frustra. Y 2) la adopción, difusión y uso de la tecnología, que se refiere a la capacidad de los individuos, organizaciones o sectores para incorporar, adaptar, aprender y difundir tecnologías existentes, transformándolas en mejoras productivas, organizacionales o sociales. Esta fase depende de las capacidades humanas, organizacionales e institucionales, y está estrechamente vinculada a procesos de aprendizaje, absorción y cambio organizacional (Rogers, 2003; Hall & Khan, 2003).

- **Innovación**

Por último, la innovación se relaciona con renovación o desarrollos novedosos para la ejecución de ciertas tareas, procesos o el funcionamiento y/o construcción de objetos. El Manual de Oslo de la OCDE la define como “un producto o proceso nuevo o mejorado (o una combinación de ambos) que difiere significativamente de los productos o procesos anteriores, y que se ha puesto a disposición de potenciales usuarios (productos) o se ha comenzado a utilizar (procesos).” (Manual de Oslo, 2018). Las actividades innovadoras son aquellas operaciones o prácticas de desarrollo, financieras o comerciales que conducen o buscan llevar a innovaciones, y que deben ser introducidas al proceso que correspondan (*Ibid*). Cabe resaltar que, la innovación se distancia de la novedad en tanto que la primera conlleva a cambios sistémicos significativos, o a cambios en los entornos en donde procesos innovadores tienen lugar, lo cual no sucede cuando se trata solo de novedades.

Desde la teoría económica, Schumpeter (1942), entendió la innovación como una de las causas del desarrollo económico, como un proceso de transformación económica, social y cultural, y la definió como la introducción de nuevos bienes y servicios en el mercado, el surgimiento de nuevos métodos de producción y transporte, la consecución de la apertura de un nuevo mercado, la generación de una nueva fuente de oferta de materias primas y el cambio en la organización en su proceso de gestión. Bajo esta misma perspectiva se han definido dos categorías de innovación, clasificadas por el tamaño de impacto: la innovación incremental y la innovación radical. La categoría incremental establece mejoras de producto, procesos o sistemas de gestión, no requiere grandes inversiones y supone un grado de novedad importante pero que no rompe con paradigmas establecidos; mientras la radical posibilita los cambios revolucionarios y las transformaciones decisivas ya que suponen aportes novedosos y totalmente distintos en la sociedad y en la economía, a pesar de que representan un mayor riesgo e inversión.

En la siguiente tabla se presenta un resumen de conceptos que enmarcarán en adelante el entendimiento de la ciencia, la tecnología y la innovación, considerando la descripción realizada, y para, a continuación, evaluar las formas de entender su incidencia en esquemas de crecimiento y como motor de desarrollo.

Tabla 1. Conceptos base

Concepto	Propósito	Características	Relación con los demás
Conocimiento 	Interpretar, explicar y transformar la realidad a partir de la experiencia, el razonamiento y la interacción social. Constituye la base del desarrollo económico, social y territorial.	Es un activo intangible y un bien público; se construye de manera colectiva; es dinámico, contextual y acumulativo; combina saberes tácitos y explícitos; genera rendimientos crecientes y no es plenamente excluible ni rival.	Es la base sobre la cual se desarrollan la ciencia, la tecnología y la innovación. Sustenta la ciencia, alimenta el desarrollo tecnológico y posibilita la innovación. Su adecuada gestión impulsa productividad, cohesión social e innovación sostenida.
Ciencia 	Generar conocimiento sistemático, crítico y verificable para comprender fenómenos naturales y sociales y ampliar la frontera del saber.	Se basa en observación, experimentación y formulación teórica; es falible, revisable y sujeta a falsación; avanza mediante paradigmas y programas de investigación; es una construcción social e institucional.	Transforma el conocimiento en explicaciones rigurosas. Proveen la base cognitiva para el desarrollo tecnológico y orienta procesos de innovación, especialmente en investigación aplicada y desarrollo experimental.
Tecnología 	Aplicar conocimiento científico o empírico para resolver problemas concretos y atender necesidades humanas	Tiene finalidad práctica e instrumental; se materializa en procesos, métodos, herramientas, sistemas y dispositivos; surge de aprendizajes acumulativos e interacciones institucionales; comprende fases de generación y de adopción, difusión y uso.	Utiliza resultados de la ciencia y del conocimiento acumulado. Actúa como puente entre ciencia e innovación, permitiendo convertir conocimiento en soluciones productivas, organizacionales o sociales.
Innovación 	Generar valor económico, social, ambiental o cultural mediante la introducción efectiva de productos, procesos, servicios u organizaciones nuevos o significativamente mejorados.	Implica implementación y uso, no solo novedad; puede ser incremental o radical; conlleva cambios sistémicos; depende de capacidades tecnológicas, institucionales y organizacionales; está orientada al impacto.	Convierte el conocimiento y la tecnología en transformaciones concretas. Retroalimenta la ciencia y la tecnología al generar nuevas demandas, aprendizajes y trayectorias de desarrollo.

Fuente: Elaboración propia a partir de Bunge (1959, 1983), Romer (1990), Lucas (1988), Nonaka y Takeuchi (1995), Nelson y Winter (1982), Lundvall (1992), Manual de Oslo (OCDE, 2018), OCDE (2015).

3.2. Marco teórico

Este marco teórico fundamenta conceptualmente la manera en que la CTel se articula dentro de un modelo de desarrollo basado en conocimiento, capaz de transformar la capacidad científica en valor público, bienestar social y sostenibilidad territorial.

Se plantea a partir de dos observaciones. Por un lado, que existe una creciente evidencia, desde la economía del crecimiento, de que el conocimiento y la innovación son los motores fundamentales del desarrollo. Por otro, que el reto se centra en la necesidad de traducir esas capacidades en estructuras institucionales (sistemas), ecosistemas y mecanismos de gestión que permitan que la ciencia produzca impacto real en la sociedad. Bajo esa mirada, se plantea una perspectiva que explora diferentes niveles de análisis: los niveles macro, meso (o intermedio) y micro de la cadena de valor del conocimiento².

Desde el nivel macro, se examinan las teorías que vinculan la inversión en conocimiento, capital humano e innovación con el crecimiento económico y la sostenibilidad. En el nivel meso, el análisis se traslada hacia la estructura de los sistemas y ecosistemas de innovación (las interacciones entre universidades, empresas, Estado y sociedad civil). Finalmente, en el nivel micro, se abordan los procesos de maduración tecnológica y gestión de la innovación.

3.2.1. Macro: Ciencia e innovación en la economía del conocimiento

Este capítulo examina las bases económicas que sustentan el papel de la ciencia, la tecnología y la innovación (CTel) como motores del desarrollo. Parte de las teorías de crecimiento endógeno, que explican cómo la acumulación de conocimiento y capital humano produce crecimiento sostenido, y termina en la noción de economías basadas en conocimiento, entendidas como la institucionalización de esas ideas en las políticas y estructuras productivas contemporáneas.

El propósito es mostrar que la inversión en ciencia y tecnología no es un gasto, sino un mecanismo estratégico de crecimiento y bienestar social. En este nivel macro, se analiza cómo la CTel contribuye a la productividad, la competitividad y la sostenibilidad, generando las condiciones para el desarrollo de sistemas y ecosistemas (nivel meso) y mecanismos de gestión (nivel micro).

Modelos de crecimiento endógeno

² En este documento, macro, meso y micro son tres escalas de análisis. Macro se refiere a las condiciones estructurales y de política del desarrollo basado en conocimiento. Meso alude a los arreglos de coordinación y gobernanza entre actores, como sistemas y ecosistemas, modelos de hélice y misiones. Micro corresponde a la gestión y maduración de proyectos y su adopción, incluyendo TRL y SRL, cadena de valor, modelos de decisión y difusión.

Las teorías del crecimiento endógeno emergieron a partir de las limitaciones del modelo neoclásico de Robert Solow (1956), que dominó el pensamiento económico durante buena parte del siglo XX. En su formulación original, la producción total dependía del capital físico, el trabajo y un componente de progreso tecnológico. Sin embargo, este último se consideraba exógeno, lo que implicaba que el modelo no explicaba cómo surgía la innovación ni por qué algunas economías lograban sostener tasas de crecimiento más altas que otras (OCDE, 1996).

El modelo de Solow asume rendimientos constantes a escala y pleno uso de los recursos productivos. La acumulación de capital depende del ahorro de los hogares y de la inversión neta, descontando la depreciación del capital físico y la propensión marginal a ahorrar (Ferrer et al., 2021). En este marco, la economía tiende hacia un estado estacionario, un punto de equilibrio de largo plazo donde la población y el stock de capital crecen a tasas constantes, y el ingreso per cápita se estabiliza.

La búsqueda del estado estacionario es la herramienta de Solow para explicar la divergencia entre economías desarrolladas y no desarrolladas, y brindar alternativas de política para estimular el crecimiento de las no desarrolladas y que sea posible alcanzar a largo plazo un crecimiento estable y que tienda a dicho estado. En el contexto del modelo de Solow, el estado estacionario representa un límite estructural del crecimiento, pues es una situación en la que los aumentos en el capital físico dejan de producir ganancias significativas de productividad y solo el progreso tecnológico puede mantener el crecimiento a largo plazo³.

El problema es que el propio modelo no explica ese progreso tecnológico. Como señaló Romer (1990), en Solow el conocimiento cae del cielo, pues se manifiesta como un residuo no modelado que, paradójicamente, explica la mayor parte del crecimiento observado. Este vacío teórico impulsó el surgimiento de una nueva generación de teorías que incorporaron la ciencia, la educación y la innovación como motores internos del desarrollo.

Los primeros intentos de romper con esa característica exógena están en los trabajos de Arrow (1962) y Abramovitz (1956), quienes propusieron que la productividad puede aumentar gracias al aprendizaje práctico (*learning by doing*). Arrow mostró que la experiencia adquirida en la producción mejora la eficiencia y genera rendimientos crecientes, incluso sin nuevas inversiones. Del mismo modo, Frankel (1962) formalizó esta idea, demostrando que el capital acumulado produce externalidades positivas que benefician a toda la economía.

El primer modelo de crecimiento completamente endógeno fue formulado por Rebelo (1991), quien, retomando a Arrow y Frankel, propuso que la producción depende directamente del stock de capital (K) multiplicado por un factor de productividad (A)⁴. Este es el modelo conocido como AK.

³ Según Howarth (2012), la idea de “estado estacionario”, inspirada en John Stuart Mill (1848), no era un escenario negativo, sino una etapa en la que las sociedades, habiendo satisfecho sus necesidades básicas, podrían enfocarse en el bienestar colectivo.

⁴ Acá el capital es entendido en sentido amplio como la suma del capital físico, el humano y el financiero.

El modelo AK elimina los rendimientos decrecientes del capital, permitiendo un crecimiento indefinido si se mantiene una tasa suficiente de inversión en conocimiento e innovación. En otras palabras, el crecimiento no está limitado por el estado estacionario de Solow, sino que puede sostenerse de manera permanente y endógena mediante la acumulación continua de capacidades. Rebelo (1991) demostró que las políticas que incentivan el ahorro, la inversión y la formación de capital humano pueden mantener tasas de crecimiento positivas sin requerir un progreso tecnológico externo. Este modelo se convirtió en un puente teórico entre el paradigma neoclásico y las formulaciones modernas del crecimiento endógeno, al reconocer que la educación, la investigación y la innovación forman parte del propio proceso productivo.

Posteriormente, Romer (1986) incorpora una función de producción endógena que incorpora externalidades de capital que surgen de dos procesos: *learning by doing* (aprendizaje práctico) y *knowledge spillovers* (desbordamiento de conocimiento). Romer plantea que cuando una empresa invierte y aumenta su stock de capital, aumenta su producción y la de otras empresas que la rodean, gracias a la transferencia de conocimientos entre empresas. Este fenómeno se da considerando que, según Romer (1990), las ideas son bienes no rivales, es decir, pueden ser utilizadas por múltiples empresas y personas simultáneamente sin que el uso de uno restrinja el de los otros, y generan externalidades positivas, pues el uso de una idea por una empresa puede generar beneficios para otras industrias o sectores. Lo anterior a través del mecanismo de *learning by doing* el conocimiento se difunde en la economía y crea posibilidades de rendimientos crecientes, que impulsan la productividad agregada.

En consecuencia, en este modelo las empresas invierten en investigación y desarrollo (I+D) no solo por sus beneficios privados, sino porque esas innovaciones generan *spillovers* que elevan la productividad general de la economía. Así, el progreso tecnológico deja de ser una variable externa y pasa a ser el resultado de la acumulación intencional de conocimiento.

El modelo de Romer parte de una función de producción similar a la del modelo de Solow, incluyendo el capital humano, pero con un factor adicional que representa la externalidad descrita, y concluye que el cambio tecnológico endógeno asegura el crecimiento sostenido con la transferencia de conocimientos entre industrias. Este planteamiento transformó la visión del crecimiento, pues implica que el desarrollo sostenido es posible cuando la producción de ideas reemplaza los rendimientos decrecientes del capital físico por rendimientos crecientes derivados de la innovación. La implicación de política es que el modelo muestra que al invertir en conocimiento no es un gasto, sino una estrategia de crecimiento.

Lucas (1988), por su parte, propone que el motor de crecimiento proviene del capital humano, donde la educación, el desarrollo de habilidades y los procesos de formación continua benefician a los individuos por los retornos individuales que generan, pero propician externalidades positivas para toda la economía. El modelo de Lucas parte de una función de producción que depende del capital, el trabajo (entendido como cantidades de trabajo) y el capital humano (entendido como la fuerza de trabajo y sus capacidades). Según Lucas, la formación de una persona eleva también la productividad de otros miembros, en una lógica

similar a la planteada por Romer con el desborde de conocimiento, y de una forma más eficiente puesto que entre individuos, este desborde no es excluible, pues no involucra necesariamente esquemas de patentes o de exclusión de conocimiento⁵.

Los trabajos de Philippe Aghion y Peter Howitt (1992, 1998) marcan una segunda gran revolución dentro de las teorías del crecimiento endógeno. Inspirados en la noción schumpeteriana de destrucción creativa, los autores plantean que el crecimiento económico no es un proceso lineal ni armónico, sino una sucesión de innovaciones que reemplazan tecnologías anteriores, destruyendo rentas existentes, pero generando ganancias de productividad a largo plazo.

En su modelo, las empresas invierten en investigación y desarrollo (I+D) con el objetivo de obtener rentas temporales de monopolio derivadas de sus innovaciones. Sin embargo, esas rentas desaparecen cuando surgen nuevas tecnologías, forzando a las empresas a innovar continuamente. Este mecanismo crea un ciclo dinámico de competencia tecnológica, en el que la posibilidad de ser desplazado es el incentivo que mantiene vivo el progreso.

La principal diferencia entre el modelo de Aghion y Howitt y el de Romer es que, en los dos primeros, el crecimiento surge no solo de la acumulación de conocimiento, sino de la interacción estratégica entre agentes que compiten por innovar. El progreso tecnológico es el resultado de una carrera permanente por generar nuevas ideas, lo que introduce una dimensión evolutiva y disruptiva al crecimiento endógeno (Aghion & Howitt, 1992). Además, Aghion y Howitt demuestran que el ritmo y la calidad de la innovación dependen del entorno institucional. Un sistema de patentes eficiente, mercados financieros que faciliten la inversión de riesgo y políticas de competencia adecuadas son condiciones necesarias para sostener el proceso de destrucción creativa sin generar monopolios prolongados ni exclusión tecnológica.

Rodrik amplió y reinterpretó la teoría del crecimiento endógeno desde una perspectiva institucional y política. Sus trabajos (Rodrik, 2004; 2007; 2011; 2020) indagan sobre las razones por las que algunos países no logran aprovechar el conocimiento y la innovación como motores del crecimiento. Propone que el crecimiento sostenido no depende únicamente de la cantidad de conocimiento generado, sino de la capacidad institucional de las economías para transformar ese conocimiento en estructura productiva diversificada y equitativa.

Rodrik introduce el concepto de transformación estructural, entendido como el proceso mediante el cual las economías trasladan recursos desde actividades de baja productividad hacia sectores más complejos y con mayor valor agregado. En esta visión, la ciencia y la innovación son palancas del desarrollo solo si logran modificar la estructura productiva y generar encadenamientos tecnológicos hacia el resto de la economía. El crecimiento endógeno se convierte en una estrategia de transformación dirigida. Las políticas públicas no deben

⁵ Cohen y Levinthal (1990) introducen el concepto de capacidad de absorción, que representa la habilidad de las industrias de reconocer el valor del conocimiento externo, para aplicarlo con fines productivos. Esta capacidad depende de la formación y acumulación de capital humano científico, con habilidades de tecnología, para que ese conocimiento pueda realmente ser aprovechado.

limitarse a financiar investigación, sino a construir capacidades como infraestructura, capital humano, regulación inteligente y coordinación público-privada.

En *Industrial Policy for the Twenty-First Century* (2004), Rodrik argumenta que la política industrial moderna debe entenderse como una estrategia de descubrimiento en la que el Estado, las empresas y las universidades colaboran para identificar nuevas oportunidades tecnológicas y eliminar los fallos de coordinación que impiden su expansión. Posteriormente, en *One Economics, Many Recipes* (2007), profundiza esta idea, señalando que no existe un único camino hacia el desarrollo. Cada país debe diseñar su propio conjunto de instituciones e incentivos para transformar el conocimiento en productividad. Lo importante no es replicar modelos, sino aprender institucionalmente.

En sus trabajos más recientes (Rodrik, 2016; 2020), introduce la preocupación adicional de la equidad tecnológica. Advierte que la concentración de la innovación en ciertos sectores (tecnologías digitales o de automatización) puede generar desindustrialización prematura y ampliar las brechas sociales si no se promueve la difusión del progreso. Propone un crecimiento endógeno inclusivo en el que las instituciones orientan la innovación hacia sectores que generen empleo, aprendizaje y bienestar social. En este sentido, el desarrollo consiste únicamente en aprender a hacer cosas nuevas de manera más compleja (Rodrik, 2007).

Innovación social

Los aportes al desarrollo de la CTel se expanden a su uso como herramienta de innovación social. En este sentido, Murray, Caulier-Grice & Mulgan (2010) definen innovación social como el desarrollo e implementación de nuevas ideas, servicios, modelos o prácticas que buscan dar respuesta a necesidades sociales no satisfechas, mejorar la calidad de vida de las personas y promover la cohesión social, reconociendo la CTel como una herramienta efectiva para dar solución efectiva a dichas necesidades. A diferencia de la innovación tecnológica o empresarial, que suele estar orientada al mercado y la competitividad, la innovación social se centra en el impacto colectivo y en generar soluciones sostenibles para problemas como la pobreza, la desigualdad, la inclusión y el bienestar social, la salud o el medio ambiente. Su valor radica no solo en el resultado, sino también en la manera participativa en que se diseña y aplica.

Los incentivos a generar conocimiento y con ello ciencia y nuevas tecnologías, resultan fundamental para desarrollar herramientas que permiten abordar los desafíos sociales de forma eficiente e innovadora. La ciencia aporta la comprensión de los fenómenos sociales, económicos y ambientales, mientras que la tecnología ofrece los medios para crear soluciones prácticas y escalables, como plataformas digitales para inclusión financiera, sistemas de salud basados en datos o tecnologías limpias para comunidades vulnerables. De este modo, la combinación de investigación científica y desarrollo tecnológico orienta la innovación hacia objetivos que van más allá del mercado y priorizan el bienestar social.

La innovación resulta ser el puente entre el uso de la ciencia y la tecnología enfocada en el bienestar social, de tal manera que logra que descubrimientos científicos y avances

tecnológicos se conviertan en servicios, programas o productos que mejoran la vida de las comunidades (Comisión Europea, 2013). Esto también supone redes colaborativas para la creación de, por ejemplo, modelos educativos digitales inclusivos, las aplicaciones de salud comunitaria o los proyectos de economía circular.

De acuerdo con Bataglin y Kruglianskas (2022), la innovación social integra procesos de aprendizaje colectivo, participación ciudadana y creación conjunta de valor público, articulando actores de distintos sectores en redes colaborativas que promueven nuevas formas de inclusión y sostenibilidad. En este sentido, Galego et al. (2022) destacan que la gobernanza es un componente esencial de la innovación social, pues determina las condiciones institucionales y relacionales que permiten a los actores públicos, privados y comunitarios interactuar, coordinarse y generar transformaciones estructurales en sus territorios. En la siguiente sección se describirán los roles y modelos de relacionamiento entre actores, destacando cómo se construyen los esquemas institucionales que permiten diseñar esquemas de innovación social.

Murray, Caulier-Grice & Mulgan (2010) describen la innovación social como un proceso cíclico, que inicia por diagnosticar e identificar las necesidades sociales, para luego diseñar propuestas donde el uso de herramientas de innovación sea el factor principal en el desarrollo de soluciones. Con ideas decantadas, se diseñan experimentos, pilotos y evaluaciones en pequeña escala, y se desarrollan modelos para que a través de la innovación se transformen estructuras, políticas o comportamientos a gran escala. En la última sección de este capítulo se describirán más al detalle las cadenas de valor aplicables en esquemas de innovación social.

Economías del conocimiento

Las teorías del crecimiento endógeno muestran que el conocimiento no es un resultado colateral de la economía, sino su motor interno. Luego, el análisis sobre el capital humano y el aprendizaje colectivo explica cómo ese conocimiento se forma, se comparte y se multiplica entre individuos e instituciones. Adicional a esto, es necesario comprender cómo ese entramado cognitivo y social se convierte en una estructura organizada de desarrollo, en una economía del conocimiento. Este paradigma representa el punto en el que las ideas de crecimiento y capital humano se transforman en política pública y en gobernanza institucional.

La noción de economía del conocimiento es la traducción institucional de las teorías de crecimiento endógeno. Si el conocimiento genera rendimientos crecientes, como demostró Romer (1990), y si el aprendizaje se difunde socialmente, como sostuvo Lucas (1988), entonces el desafío no es solo producir conocimiento, sino diseñar instituciones capaces de organizar su circulación. Autores como Lundvall (1992), Freeman (1995) y Foray (2004) ampliaron el enfoque endógeno hacia una visión sistémica. Propusieron que la innovación es un proceso interactivo y distribuido, dependiente de la relación entre empresas, universidades, gobiernos y sociedad civil. En este contexto, la competitividad de una economía se mide por su capacidad de aprender institucionalmente, lo que implica coordinar esfuerzos, compartir conocimiento y transformar la experiencia en innovación.

A partir del entendimiento del conocimiento como factor de desarrollo económico, se identifican diferentes actores y roles dentro de las economías de conocimiento. El trabajador del conocimiento, por ejemplo, surge como un actor que no se define bajo el mismo estándar de la economía clásica y neoclásica, es decir, cuyo rol y valor no están determinados solo por su productividad y su costo, sino por su capacidad de innovación, de elaborar y de aplicar sus conocimientos (Darceles, 2007; Drukel, 2003; Goleman, 1999). La formación y el desarrollo de capacidades se convierten en factores fundamentales para las economías de conocimiento, otorgando también un rol fundamental a los procesos de aprendizaje, y transformando el conocimiento en un producto de mercado que crea nuevos mercados (OCDE, 1996).

Al respecto, la OCDE (1996), describe que las economías basadas en conocimiento no se traducen únicamente en la producción tecnológica y la inversión en I+D, sino en la educación y formación, y la infraestructura institucional y tecnológica que permita aprovechar esos conocimientos y ampliar la capacidad de innovación y difundir el conocimiento. Bajo esta perspectiva, las economías del conocimiento involucran transformaciones institucionales y regulatorias, el fortalecimiento de esquemas de educación terciaria y el diseño de entornos favorables para que las industrias sean intensivas en conocimiento (*Ibid*).

Evidencia del resultado de incentivar economías basadas en conocimiento, es la relación entre mediciones de inversión en conocimiento, número de patentes, proporción de población con educación terciaria e indicadores de formación continua, que apalancan indicadores de retorno económico como la productividad total de los factores, el crecimiento y la competitividad internacional, que apalanca el desarrollo de países como Corea del Sur, Alemania, Singapur y Suecia (OCDE, 1996). Más recientemente, la OCDE (2025), señaló que la importancia económica de la investigación en los sistemas de educación superior, como eje central en la producción de conocimiento e innovación para las sociedades basadas en conocimiento, ha incrementado y apalancado el crecimiento y la competitividad en países como Dinamarca, donde el gasto en educación superior como porcentaje del PIB aumenta del 0,86 % al 1,87 % y en Suecia, del 0,73 % al 1,50 %, lo que significa que aproximadamente la mitad del gasto total en este nivel se destina a actividades de I+D.

En materia de desarrollo social, la UNESCO (2023) muestra que los países con el PIB per cápita más alto y que han incentivado el fortalecimiento de sus economías como economías del conocimiento, priorizan y mantienen tasas de inversión en ciencia, tecnología e innovación altas, y con ello impulsan el empleo y el cierre de brechas de desigualdad. Estados Unidos, por ejemplo, desarrolló políticas públicas industriales enfocadas en tres pilares: la transición verde, la transformación digital y la competitividad global. Rusia ha propuesto diversas áreas de trabajo con apoyo internacional compuesto donde predomina la búsqueda de mercados energéticos limpios, bioingeniería, nanotecnología, ecología y medicina. Japón adoptó la estrategia Sociedad 5.0 en 2017, como una herramienta para crear sistemas sostenibles y socioeconómicamente inclusivos, impulsados por tecnologías digitales.

El informe de UNESCO muestra cómo en estos países la inversión en CTel impulsa la generación de empleos y el cierre de brechas de desigualdad, considerando que permite que haya acceso a más herramientas educativas, a nuevos desarrollos en salud, y contribuye a la mejora de

problemáticas sociales en la infraestructura de las ciudades, entre otros. Países como Nueva Zelanda se plantean incluso un marco de calidad de vida que considera los avances en CTel como parte de los objetivos de desarrollo intergeneracional. Sin embargo, también se plantean retos en cuanto a la adaptación de países en desarrollo, donde se requiere que el conocimiento se traslade a otros sectores, que los avances en tecnología sean accesibles a toda la población y adaptados según las condiciones de cada grupo poblacional, o se corre el riesgo de que puedan resultar ampliando las brechas de desigualdad.

3.2.2. Meso: Modelos de producción de conocimiento e integración de actores CTel

Como se mencionó anteriormente, la capacidad innovadora de un territorio o sector no depende únicamente del volumen de inversión en ciencia, tecnología e innovación, ni del talento humano disponible, sino también de la calidad de las interacciones entre los distintos actores, del grado de coordinación institucional y de la orientación estratégica hacia misiones colectivas que articulen esfuerzos y recursos. El éxito en la construcción de sociedades basadas en el conocimiento radica, por tanto, en la identificación, articulación y coordinación efectiva de los actores que conforman los sistemas de CTel, así como en su capacidad para evolucionar y adaptarse a los cambios tecnológicos, sociales y económicos.

En esta sección se presentan algunos modelos de coordinación y gobernanza de la innovación, que van desde la comprensión de los sistemas y ecosistemas de innovación y los modelos de relacionamiento cooperativo, hasta el análisis de los roles y transformaciones de los actores de la ciencia, la tecnología y la innovación.

Sistemas y ecosistemas de innovación

En la organización de modelos de coordinación y gobernanza de la innovación, los conceptos de sistema de innovación y ecosistema de innovación aparecen como conceptos alrededor de la idea de que la innovación no es un proceso individual ni lineal, sino el resultado de interacciones entre múltiples actores que comparten recursos, conocimiento y capacidades. La diferencia entre ambos conceptos puede entenderse desde la escala de análisis o en nivel de agregación, y la naturaleza de las relaciones que los constituyen.

Los sistemas de innovación se entienden como el conjunto de instituciones, organizaciones, políticas y relaciones entre diferentes actores que influyen en los procesos de innovación de un territorio o sector en particular. Este concepto fue introducido por Christopher Freeman (1987) en estudios sobre el desempeño tecnológico y económico de Japón, y posteriormente desarrollado por autores como Lundvall (1992) y Richard Nelson (1993), quienes destacaron la importancia de las redes de aprendizaje y colaboración entre los diferentes actores del sistema. Este enfoque es una de las perspectivas que reconoce que la innovación no ocurre de manera aislada, sino que depende de la articulación entre universidades, el sector público, empresas y la ciudadanía. Así, Granstrand y Holgersson (2020) reconocen los sistemas de innovación como todos los factores económicos, sociales, políticos, organizacionales, institucionales, entre otros, que influyen en el desarrollo, difusión y uso de innovaciones.

Estos sistemas se distinguen por su carácter interactivo y dinámico, en el que la innovación resulta de procesos de aprendizaje colectivo y del intercambio y transferencia constante de conocimiento, experiencias y recursos. En este contexto, se generan *knowledge spillovers*, entendidos como los efectos positivos derivados de la difusión del conocimiento más allá de los actores que lo producen, lo cual refuerza las capacidades de innovación del sistema en su conjunto (Romer, 1990). La literatura destaca que, más allá de la inversión en investigación y desarrollo, los factores determinantes están relacionados con la cantidad, calidad y frecuencia de los vínculos. Una frecuencia más intensa y continua de estos vínculos, amplía la difusión del conocimiento y potencia los efectos de los *spillovers*. Asimismo, la capacidad institucional para favorecer la cooperación y las dinámicas de aprender haciendo, usando e interactuando resulta clave (Lundvall, 1992). De este modo, se impulsa la evolución conjunta de la tecnología, los mercados y las políticas públicas (Nelson, 1993).

Los sistemas de innovación pueden analizarse a nivel nacional, regional o sectorial, lo que permite comprender cómo las particularidades institucionales y culturales influyen en los procesos de innovación y el desempeño económico y social de los territorios.

A nivel nacional, los sistemas nacionales de innovación se componen de todos los aspectos económicos, estructurales e institucionales, que afectan al aprendizaje innovador, así como los subsistemas de producción, de *marketing* y financieros en los que se produce este aprendizaje (Lundvall, 1992). En Colombia, el Decreto 1666 de 2021, señala que el Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SNCTI) es un sistema abierto en el que interactúan Estado, academia, empresas y sociedad civil para impulsar ciencia, tecnología e innovación, con el objetivo de generar y usar conocimiento, promover inversión pública y privada en I+D, fomentar la innovación social y formular escenarios prospectivos de mediano y largo plazo, y estableciendo instancias de gobernanza a nivel nacional como el Consejo Nacional de Política de Ciencia, Tecnología e Innovación (CONACTI) y el Consejo Científico Nacional (CCN), y a nivel regional como los Consejos Departamentales de Ciencia, Tecnología e Innovación (CODECTI) (Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, s.f.).

A nivel regional, se refiere al ordenamiento institucional que apoya la innovación dentro de la estructura productiva de una región, y a nivel sectorial al tejido empresarial activo en el desarrollo y la fabricación de productos de un sector y en la generación y utilización de tecnologías de dicho sector; dicho sistema de empresas se relaciona de dos maneras diferentes: mediante procesos de interacción y cooperación en el desarrollo de tecnología y artefactos, y mediante procesos de competencia y selección en la actividad innovadora y de mercado (Breschi and Malerba, 1997).

Los ecosistemas de innovación emergen más recientemente como una metáfora aplicable a contextos locales, territoriales o sectoriales, en conjunto, facilitando la gobernanza de los sistemas de innovación para cada contexto. Al hablar de ecosistemas en términos generales, se entiende como una comunidad de organismos que interactúan entre ellos y con su entorno físico y los factores que envuelven todo el ecosistema (Tansley, 1935). Los ecosistemas de innovación

transponen este concepto al entorno de la ciencia, la tecnología y la innovación, integrando todos los actores de CTel como emprendedores, inversionistas, incubadoras, aceleradoras, universidades, corporaciones, Gobierno y comunidades de apoyo, más investigadores y grupos de investigación. De esta forma, Granstrand y Holgersson (2020), plantean que los ecosistemas de innovación son el conjunto dinámico de actores, actividades y herramientas, así como las instituciones y relaciones, incluidas las relaciones complementarias y sustitutivas, que son importantes para el desempeño innovador de un actor o un grupo de actores.

La constitución de ecosistemas de innovación implica la estructuración inicial, conformación de alianzas estratégicas, financiamiento de proyectos colaborativos, implementación de políticas de innovación, desarrollo de infraestructura y evaluación continua para fortalecer el ecosistema y su impacto, con el foco en la innovación como eje integrador y con el propósito de producir flujos interorganizacionales de innovación tecnológica (Grandstrand, Holgersson, 2020).

De esta manera, en estos ecosistemas la innovación se genera individualmente, pero se potencia como resultado de redes colaborativas, esquemas competitivos, transferencia e intercambio de conocimiento, entre otros. Dentro de este esquema, Grandstrand y Holgersson (2020), destacan características propias de los ecosistemas de innovación y características de la conformación de redes de actores dentro de los mismos.

Los ecosistemas de innovación suponen una red de interdependencia entre actores, donde no hay un único centro dominante, sino que es fundamental la participación e interconexión de múltiples actores, que tienen una estructura modular, centralizada, no aleatoria y sinérgica, que permite al ecosistema generar innovaciones gracias a complementariedades, conocimientos compartidos, efectos de red, retroalimentaciones positivas, y, por último, son esquemas que evolucionan con el tiempo y dependen del contexto en que se presenten (*Ibid*).

Así, mientras que los sistemas de innovación ponen el acento en el diseño institucional y la coordinación estatal, los ecosistemas de innovación destacan la interacción relacional, el aprendizaje colectivo y la autoorganización de los actores en contextos locales.

Modelos de hélice (triple, cuádruple y quintuple)

En la lógica de innovación y de impulsar sociedades de conocimiento y sistemas de innovación, la identificación de actores y roles es fundamental para observar las dinámicas en el mercado de conocimiento y fortalecer el relacionamiento entre estos actores. Con ese propósito Etzkowitz y Leydesdorff (2000) desarrollaron el modelo de triple hélice. Este modelo parte de la premisa de que la innovación no sucede en una sola organización, sino que se desarrolla en esquemas de relacionamiento lateral y no piramidal, como cadenas de valor combinadas y multilaterales, donde es clave mapear a los actores y entender sus respectivos roles, pues cada uno compone los eslabones de las sociedades de conocimiento y, como se describirá más adelante, dentro de cada rol hay un eje fundamental para el diseño de esquemas colaborativos.

El modelo de triple hélice es un modelo espiral que captura múltiples relaciones recíprocas en diferentes partes del proceso de capitalización del conocimiento, considerando como hélices base el gobierno, la academia y el sector productivo y empresarial. El modelo contempla tres dimensiones que caracterizan cada hélice y su relacionamiento:

- La primera dimensión es una transformación interna en cada una de las hélices, como el desarrollo de vínculos laterales entre empresas a través de alianzas estratégicas, o el planteamiento de proyectos investigativos entre universidades, que facilitan la interconexión entre cada hélice y fortalecen la capacidad de generación y utilización del conocimiento en cada una.
- La segunda dimensión es la influencia de una hélice sobre la otra en un esquema bilateral, donde se propicie facilitar la transferencia de tecnología o el diseño de investigaciones pertinentes. En esta dimensión se observan, por ejemplo, cambios institucionales y regulatorios significativos, que, como señala la OCDE (1996), son fundamentales para establecer sociedades del conocimiento. Cuando, se dan cambios en las reglas de propiedad intelectual de investigaciones con financiación pública, por ejemplo, se facilita la transferencia de conocimiento y tecnologías a las universidades, dando lugar al surgimiento de una profesión académica de transferencia de conocimiento.
- La tercera dimensión es la creación de una superposición de redes y organizaciones trilaterales, a partir de la interacción entre las tres hélices formadas con el propósito de formar nuevas ideas y formatos para el desarrollo de alta tecnología (Etzkowitz y Leydesdorff, 2000).

Bajo esta perspectiva, aunque cada hélice tiene un rol específico, se busca diseñar sistemas donde puedan incorporarse en el rol de la otra, y ampliar las capacidades más allá de los modelos donde el estado incorpora a la industria y a la universidad. Las universidades pueden ser instalaciones de incubación, la industria potencial educador, y el gobierno puede ser una figura emprendedora que capitalice el riesgo de inversión (Etzkowitz y Leydesdorff, 2000). En este juego de roles se tiene que:

1. *El Estado:* Mazzucato (2013) plantea que la innovación no puede ser únicamente responsabilidad del sector privado, sino que el estado no debe ser un actor aislado y tiene la capacidad de financiar investigación y desarrollo en áreas de riesgo para el sector privado, conformando un estado emprendedor e incentivando la integración de actores en la creación de nuevos mercados para impulsar al crecimiento.

Según Mazzucato la innovación es un proceso colectivo incierto y acumulativo, que en las primeras etapas tiende a no ser rentable para el sector privado y, como se detallará después, puede ocasionar que las inversiones en ciencia, tecnología e innovación se recarguen sobre el sector público. Sin embargo, el impulso de un estado emprendedor que impulse las inversiones del sector, incentiva al sector privado a seguir la pauta y crear esquemas colectivos donde se alcance un crecimiento inteligente, con más innovación, pero sostenible y que contribuya a reducir los niveles de desigualdad. Este

planteamiento implica ampliar la visión tradicional del Estado como un actor neutral centrado en la regulación, la corrección de fallas de mercado y la provisión de bienes públicos (Mazzucato, 2013).

2. *Universidad emprendedora*: Las universidades pueden tomar un rol más allá de su rol como de formación y de investigación académica, lo que Clark (1998) denomina universidad emprendedora. Según el autor estas instituciones pueden asumir un papel activo en la innovación, la transferencia tecnológica y la vinculación con el sector productivo, con el propósito de aportar al desarrollo social y económico.

Para ello, es importante tener en cuenta la propuesta de Gibbons et al. (1994), quienes establecen dos formas de producir conocimiento. El Modo 1 hace referencia al modelo científico tradicional, basado en la investigación académica, realizada principalmente dentro de las universidades, guiada por la búsqueda de rigor teórico. Por su parte, el Modo 2 es una forma de producción interdisciplinaria, orientada por las necesidades sociales y económicas, que se da en contextos de aplicación y mediante la colaboración de diversos actores.

En este sentido, consolidar una universidad emprendedora requiere transitar del Modo 1 al Modo 2 de producción del conocimiento, lo que implica pasar de una lógica académica a una lógica de co-creación y transferencia con el entorno. De este modo, las universidades redefinen su papel como actores estratégicos dentro de los sistemas de innovación, asumiendo un compromiso más directo con la generación de soluciones y el desarrollo territorial.

3. *Sector privado*: el sector privado es un actor central en la dinamización de la innovación, no solo por su capacidad de absorber conocimiento, sino por su rol activo en la comercialización del conocimiento y la creación de mercados tecnológicos (Etzkowitz y Leydesdorff, 2000; Chesbrough, 2003).

Las empresas aportan *know-how* productivo y comercial, financian investigación mediante *venture capital* o proyectos colaborativos con universidades y centros públicos, e identifican problemas reales que orientan la investigación hacia soluciones aplicadas. Este papel se complementa con la generación de capacidades internas mediante estructuras de I+D, formación y especialización del personal, que varían según el tamaño y la madurez de la empresa (Palma et al., 2015), pero que en conjunto hacen del sector privado un actor clave en la creación conjunta de conocimiento y en la transformación económica basada en innovación.

Además de empresas, los emprendimientos de base científico-tecnológica juegan un papel fundamental en la absorción y generación de conocimiento, entendidos como “toda organización creada sobre la base de conocimientos con potencial innovador surgidos de actividades de I+D llevadas a cabo al interior de instituciones académicas y científico-tecnológicas; y de empresas, o en vinculación con ellas, así como también del

conocimiento que existe y circula a través de otras actividades que hacen al objeto y especialidad de estas organizaciones “ (Kantis, Agelelli, 2020). Este tipo de organizaciones no solo facilitan la transferencia de conocimiento, sino que contienen agendas de investigación que puede estar vinculada en distinta medida a los desafíos de la sociedad y de las demás empresas.

Más allá de los roles de los principales actores, el modelo de triple hélice implica también la creación de “espacios de conocimiento” o concentraciones de actividades en áreas locales que se identifican como precursores de desarrollo basadas en conocimiento. Es así cómo se crean espacios de conocimiento, es decir, ambientes de innovación regional, espacios de consenso, lugares que concentran personas con diferentes capacidades y perspectivas con el propósito de generar nuevas estrategias e ideas, y espacios de innovación, mecanismos de organización que buscan alcanzar las metas dentro del espacio de consenso, con asistencias técnicas, propuestas de financiación y consejos de negocio. Estos espacios surgen cuando los actores que promueven el desarrollo regional dejan de priorizar solo infraestructura e incentivos aislados y empiezan a valorar la producción y circulación de conocimiento, la colaboración entre universidad, empresa y Estado y la innovación como base del desarrollo.

Sin embargo, Carayannis y Campbell (2009, 2012), plantean que el esquema de triple hélice no es suficiente para desarrollar sistemas de innovación y construir sociedades de conocimiento, pues desconoce actores que pertenecen al sistema y que deberían considerarse como hélices adicionales. De esta forma desarrollan un esquema con una cuarta hélice, que corresponde a la sociedad civil y los medios de comunicación y difusión de conocimiento, que son los usuarios finales, con capacidad de evaluar y adoptar innovaciones, así como de identificar potencialidades en el proceso de investigación y desarrollo de nuevas tecnologías (Carayannis y Campbell, 2009). De esta forma también se plantea un modelo donde se democratiza el conocimiento, y donde la innovación puede ser inclusiva y orientada al bienestar social y con legitimidad pública.

Posteriormente, y considerando los recursos necesarios para la generación de conocimiento y el contexto de crisis climática global, se añade una quinta hélice al medio ambiente y los ecosistemas naturales, donde los sistemas de innovación se integran con la sostenibilidad ecológica. De esta manera, se reconoce que la extracción de recursos debe hacerse de manera sostenible, y que la innovación también es un recurso para crear herramientas de transición energética, y para enfrentar el cambio climático y la pérdida de biodiversidad, como proyectos de economía circular, energías renovables, ciudades verdes o innovación climática (Carayannis y Campbell, 2012). Este enfoque también incorpora a la innovación, el entendimiento de la ecología, es decir, el relacionamiento entre los actores de cada una de las hélices con el entorno, y transforma el esquema en uno sostenible, multilateral y democrático (*Ibid*).

Innovación orientada a misiones

Según la OCDE (s.f.), en el contexto de formulación de políticas, una misión se refiere a un objetivo político general bien definido para abordar desafíos sociales complejos y con

participación de multiplicidad de actores, en horizontes temporales definidos. Las misiones involucran un gran número de actores clave de distintos sectores, que requieren un alto grado de coordinación, pero que permiten un análisis profundo del objeto de la misión y un entendimiento de las herramientas necesarias para proveer soluciones robustas e integrales.

En este sentido, el enfoque orientado a la misión enfatiza la resolución de problemas, donde las intervenciones políticas están diseñadas para movilizar recursos, coordinar a las partes interesadas y estimular la innovación y la colaboración entre el gobierno y los sectores para abordar el desafío identificado y alcanzar los objetivos de la misión (OCDE, s.f.). Al establecer la dirección de una solución, las misiones no especifican cómo alcanzar el éxito, pero sí estimulan el desarrollo de una gama de soluciones diferentes para lograr el objetivo (*Institute for Innovation and Public Purpose*, 2019). De esta forma, las misiones orientan la investigación hacia problemas relevantes, transformando la ciencia, la tecnología y la innovación en herramientas alineadas con grandes desafíos sociales, ambientales o económicos, movilizando actores y recursos en torno a objetivos colectivos y promoviendo la consolidación de sociedades de conocimiento robustas.

Mazzucato y Caetano (2020) se plantean políticas de innovación orientadas por misiones, donde la premisa de la herramienta de política no se limita a facilitar la innovación nivelando el campo de juego con políticas horizontales que no determinan ninguna dirección, sino que ofrecen direcciones tecnológicas y sectoriales explícitas para cumplir la misión, y se basan en procesos de experimentación y aprendizaje. Desde esta perspectiva, analizan estas políticas de innovación específicamente para América Latina, donde plantean hay más oportunidades de implementar misiones de innovación por los desafíos que enfrenta la región, en especial en materia de desigualdad, donde hay una oportunidad de incluir a grandes porciones de la población en el proceso de innovación y en el sistema socioeconómico en su conjunto para abordar el problema.

En este sentido, las políticas orientadas por misiones pueden definirse como políticas públicas sistémicas que se basan en los conocimientos de avanzada para lograr objetivos específicos o “grandes proyectos científicos desplegados para resolver grandes problemas” (Ergas, 1987: 53) como la desigualdad. Así mismo, deben basarse en un diagnóstico y pronóstico claros y sólidos. Esto no solo requiere determinar los eslabones faltantes, fallas y cuellos de botella, sino también reconocer las fortalezas del sistema. Se necesita previsión para analizar las oportunidades futuras e identificar cómo se pueden utilizar las fortalezas para superar las debilidades. Este diagnóstico debe utilizarse para diseñar estrategias concretas, nuevas instituciones y nuevos vínculos en el sistema de innovación (Mazzucato, 2016).

Ahora bien, las misiones se estructuran a partir de cuatro elementos básicos (Mazzucato, 2022):

- La definición de los grandes desafíos o retos de la agenda política
- El objeto, actores y justificación de la misión, que se derivan de los desafíos y, que expresan de manera concreta objetivos con una clara dirección y sentido de logro. Para

alcanzar estas misiones se requiere el compromiso y la participación de múltiples disciplinas, sectores y actores públicos y privados.

- Un portafolio de proyectos de la misión que incentiven la experimentación, la innovación y el trabajo de abajo hacia arriba para el logro de soluciones tecnológicas y científicas al desafío principal
- Las “rutas de innovación” por medio de las cuales se organiza el portafolio de proyectos, que son desarrolladas por los actores trabajando de manera conjunta.

En Colombia en particular, según el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (2022), se han impulsado misiones en bioeconomía, ecosistemas naturales y territorios sostenibles, en garantizar el derecho a la alimentación, en energía sostenible y asequible, y en soberanía sanitaria y bienestar social, donde la innovación, los ecosistemas científicos y el desarrollo de tecnologías son elementos transversales y elementales para el alcance de los objetivos de cada una.

Condiciones habilitantes para la maduración y el impacto de la CTel

Como se expuso en los modelos de crecimiento endógeno, la acumulación de conocimiento, la inversión en capital humano y la innovación tecnológica constituyen los motores estructurales del desarrollo económico. En esta sección, esos principios se retoman desde una perspectiva aplicada presentando los habilitadores de la CTel que permiten traducir la teoría en acciones concretas para fortalecer el ecosistema de Bogotá.

El proceso de maduración de la CTel depende de un conjunto de factores y componentes que facilitan la articulación entre actores, recursos y conocimiento, y que aseguran la disponibilidad de capacidades humanas, técnicas e institucionales necesarias para transformar ideas en resultados. Estos habilitadores garantizan que las etapas de maduración tecnológica se desarrollen de manera continua, coordinada y sostenible. Entre ellos se destacan la financiación sostenida de la investigación, que permite la estabilidad de los proyectos y la consolidación de capacidades a largo plazo y la formación de capital humano en alto nivel, que fortalece la base científica y tecnológica del sistema (OECD, 2021). A estos se suman la infraestructura científica y tecnológica (OECD, 2025), los marcos normativos y de gobernanza, y los mecanismos de cooperación interinstitucional, que conforman el soporte operativo y organizativo de la ciencia y la innovación.

El fortalecimiento de estos habilitadores resulta esencial para reducir las brechas entre la generación de conocimiento y su aplicación, y para avanzar hacia un sistema de innovación más integrado y resiliente. La disponibilidad de infraestructura adecuada y de esquemas de gobernanza estables favorece la continuidad de las trayectorias tecnológicas, mientras que la cooperación entre instituciones académicas, productivas y gubernamentales promueve la transferencia de conocimiento y la adopción de tecnologías en distintos sectores. De esta manera, los habilitadores de la CTel no solo sustentan el proceso de maduración tecnológica, sino que también determinan su capacidad de generar impactos económicos, sociales y ambientales sostenibles.

3.2.3. Micro: El proceso de maduración de la CTel

Es importante considerar que la ciencia, la tecnología y la innovación no dependen únicamente de factores externos como las condiciones macroeconómicas o los marcos meso institucionales, sino que también se construyen a partir de procesos internos de gestión que facilitan la transformación de ideas en soluciones concretas. Estos procesos, que reflejan distintas etapas de maduración, implican la capacidad de organizar recursos, coordinar actores y generar dinámicas de aprendizaje que conviertan el potencial creativo en resultados tangibles con impacto en el entorno social, productivo o tecnológico.

El proceso de maduración de la CTel permite conectar las dimensiones estructurales y relacionales analizadas en los capítulos anteriores con el comportamiento y las dinámicas de los actores en el territorio. Comprender este nivel es esencial para identificar en qué medida se ha logrado consolidar capacidades científicas, tecnológicas y de innovación, cuáles son los cuellos de botella que limitan su escalamiento y qué condiciones deben fortalecerse para que el conocimiento se traduzca efectivamente en desarrollo.

Niveles de madurez tecnológica (TRL): concepto y propósito

Los niveles de madurez tecnológica, o TRL (por sus siglas en inglés, *Technology Readiness Levels*), constituyen una escala estandarizada que permite medir el grado de desarrollo de una tecnología específica y comparar su madurez con la de otras tecnologías. Este sistema se compone de nueve niveles de madurez que comprenden desde la investigación básica hasta la aplicación comercial. En esta escala, el TRL 1 representa el nivel más bajo y el TRL 9 el más alto. De este modo, cada proyecto tecnológico se evalúa conforme a los parámetros de cada nivel, asignándole una calificación de TRL según su grado de avance. A continuación, se presentan los TRL y su descripción correspondiente:

Tabla 2. Descripción de TRL

Technology Readiness Levels (TRL)	Descripción
TRL 1	Principios básicos observados: se identifican los fundamentos científicos que sustentan la tecnología.
TRL 2	Concepto tecnológico formulado: se definen aplicaciones prácticas a partir de los principios identificados.
TRL 3	Prueba de concepto experimental: se realizan experimentos de laboratorio para validar la viabilidad de la idea
TRL 4	Validación en laboratorio: los componentes clave se prueban en condiciones controladas de laboratorio.
TRL 5	Validación en entorno relevante: se hacen pruebas en un ambiente que simula condiciones reales.
TRL 6	Demostración del sistema o prototipo en un entorno relevante: se prueba un modelo a escala o prototipo en condiciones más cercanas a la realidad.
TRL 7	Demostración de prototipo en entorno real: se lleva a cabo una validación en el entorno operativo real.
TRL 8	Sistema completo y certificado: la tecnología está finalizada y comprobada a través de pruebas y certificaciones.
TRL 9	Sistema probado en entorno operativo real: la tecnología está lista para su uso comercial en condiciones reales.

Los TRL fueron desarrollados inicialmente por la NASA en los años 70, posteriormente en 1995, el investigador John Mankins definió con más detalle cada nivel y dio ejemplos prácticos para que fueran más fáciles de usar. Poco a poco, esta herramienta empezó a ser adoptada por otras instituciones en Estados Unidos, como la Oficina General de Responsabilidad y el Departamento de Defensa, que desde 2001 los hizo obligatorios en sus grandes proyectos de adquisición tecnológica. Con el tiempo, los TRL se han ajustado y mejorado, hasta convertirse en un sistema usado en todo el mundo.

Es importante mencionar que, aunque los niveles más altos de los TRL (7-9) están alineados con objetivos comerciales y de mercado, los TRL también se han extendido hacia otros ámbitos no comerciales. Diversos estudios han mostrado su uso en proyectos de investigación y desarrollo financiados con recursos públicos (EARTO, 2014), la evaluación de tecnologías agrícolas (USDA, 2018) o la gestión de innovación dentro de instituciones académicas y organismos públicos (*Human Brain Project*, 2020; Luksha et al., 2023). Su aplicación resulta clave en la formulación de políticas públicas, la gestión de la investigación, la evaluación del impacto tecnológico, la coordinación institucional y la priorización de inversiones públicas, ya que permiten identificar la etapa de desarrollo en la que está una tecnología, las brechas existentes y el tipo de apoyo necesario para su avance hacia la siguiente fase.

A los TRL se suma el concepto de Niveles de Preparación Social (SRL por sus siglas en inglés), que el Fondo de Innovación de Dinamarca define como una forma de evaluar el grado de adaptación social de un proyecto social, una tecnología, una innovación o una intervención que se integrará en determinada población. Esta conceptualización permite identificar la preparación social para la adaptación de procesos, proponer soluciones para una transición realista, y desarrollar esquemas de implementación de las tecnologías que resulten de un análisis de TRL. Así, se presentan los SRL y su respectiva descripción, que se equiparan a los TRL para un análisis comparativo y permitiente a la identificación de brechas y de apoyos necesarios entre fases, tanto para el desarrollo de tecnologías, como para su incorporación social:

Tabla 3. Descripción de SRL

Societal Readiness Levels (SRL)	Descripción
SRL 1	Identificación del problema y de la preparación social asociada a la incorporación de proyectos sociales, tecnologías, innovaciones o intervenciones.
SRL 2	Formulación del problema, y posibles soluciones y propuestas, e identificación de impactos potenciales, y de la preparación social esperada. Además, identificación de las partes interesadas relevantes para el proyecto.
SRL 3	Pruebas iniciales de la o las soluciones propuestas junto con las partes interesadas pertinentes.
SRL 4	Validación del problema mediante pruebas piloto en el entorno pertinente para fundamentar el impacto propuesto y la preparación social.
SRL 5	Validación de la o las soluciones propuestas, ahora por las partes interesadas pertinentes en la zona.
SRL 6	Demostración de la o las soluciones en el entorno pertinente y en cooperación con las partes interesadas pertinentes para obtener retroalimentación inicial sobre el impacto potencial.
SRL 7	Perfeccionamiento del proyecto y/o la solución y, si es necesario, nuevas pruebas en el entorno pertinente con las partes interesadas pertinentes.
SRL 8	Finalización y validación de las soluciones propuestas y del plan de adaptación social.
SRL 9	Demostración de la o las soluciones del proyecto en el entorno pertinente.

Fuente: Elaboración propia

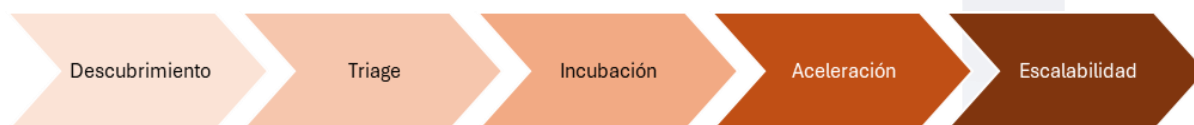
Acorde al Fondo de Innovación de Dinamarca, las etapas 1 a 3 reflejan el trabajo inicial de un proyecto de investigación, incluyendo la propuesta y prueba, de forma preliminar, de una solución técnica o social a un problema técnico o social, cuya base está en la disposición general de la sociedad a incorporar tales soluciones y a aceptar determinadas ideas. Las etapas 4 a 6 representan la o las soluciones estructuradas, la hipótesis de investigación y su puesta a prueba en el contexto pertinente. Por último, las etapas 7 a 9 comprenden las etapas finales del proyecto de investigación, incluyendo el perfeccionamiento de las soluciones, la implementación y la difusión de los resultados, considerando cómo estos se aceptan socialmente a nivel práctico.

Cadena de valor de la ciencia, tecnología e innovación

En este marco, la cadena de valor de la ciencia se propone como una manera de representar cómo el conocimiento científico se transforma en soluciones con impacto real, inspirada en enfoques como el de Roper, Du y Love (2008), quienes describen la innovación como un proceso continuo de obtención, transformación y explotación del conocimiento. Esta perspectiva permite adaptar esa lógica al campo científico, al reconocer que la generación de conocimiento también implica una secuencia de procesos que agregan valor en cada etapa tal y como lo plantean Hughes y Ulrichsen (2019). Así, una cadena de valor de la ciencia se entiende como el conjunto de procesos que permiten que el conocimiento generado a partir de la investigación se convierta en soluciones con impacto real. Esto no se limita al momento del descubrimiento, sino que abarca un proceso donde se articula la generación de ideas, su desarrollo, validación y aplicación, hasta lograr que la ciencia produzca beneficios concretos para la sociedad. Este enfoque muestra cómo cada fase agrega valor al conocimiento y facilita su paso de la investigación a la práctica (Hughes & Ulrichsen, 2019).

Los TRL permiten diagnosticar el grado de madurez técnica de un proyecto o tecnología, mientras que la cadena de valor de la ciencia traduce ese diagnóstico en acciones concretas para la gestión y el avance de los proyectos. De esta manera, un proyecto puede recibir apoyo específico según la etapa en la que se encuentre: financiamiento y acompañamiento en fases tempranas, o incentivos para escalamiento y comercialización en fases avanzadas. Así, mientras los TRL identifican en qué nivel de madurez se encuentra el proyecto, la cadena de valor define qué acciones se deben tomar para impulsarlo, asegurando que la innovación se convierta en soluciones concretas con impactos reales. A continuación, se presentan las etapas que conforman la cadena de valor de la ciencia propuesta:

Figura 1. Fases de la cadena de valor de la ciencia



Fuente: Elaboración propia

- **Descubrimiento:** Es la etapa de observación de principios científicos, es decir, en la generación de nuevo conocimiento a partir de investigaciones, hallazgos experimentales o avances teóricos⁶. También, implica la identificación de problemas u oportunidades, donde se reconocen necesidades, desafíos productivos o sociales y áreas de mejora que pueden convertirse en el punto de partida para soluciones científicas.
- **Triage:** En esta fase se evalúan, clasifican y priorizan los resultados de investigación, ideas y proyectos con el fin de identificar aquellos con mayor potencial científico, tecnológico, social o comercial (Fransman, 2018). Su objetivo es actuar como un filtro que permite asignar recursos y apoyos a las iniciativas más viables y con mayores probabilidades de generar impacto, replantear aquellas que requieren ajustes y descartar aquellas que no cumplen con criterios mínimos. Así, se busca evitar la dispersión de esfuerzos y optimizar la inversión en las etapas posteriores. Los resultados de esta etapa son la base para las siguientes fases, ya que de aquí surgen los proyectos que tienen las características para avanzar a procesos de incubación.
- **Incubación:** En esta etapa se busca impulsar y fortalecer impulsar los proyectos, ideas innovadoras o emprendimientos de base tecnológica y científica seleccionados en el *trriage*, que se encuentren en fases iniciales y que tengan un fuerte potencial de crecimiento (UNESCO, 2006). En este proceso se valida su viabilidad técnica, financiera y de mercado e incluye asesoría especializada, acompañamiento, acceso a infraestructura, financiamiento, formación y fortalecimiento de capacidades, así como conexión con redes estratégicas. Su propósito es estructurar el modelo de negocio, reducir riesgos y aumentar la probabilidad de éxito, generando un entorno que facilite la maduración y la preparación para fases posteriores de aceleración y escalabilidad. Por esta razón, los mecanismos de incubación constituyen un componente esencial en el

⁶ Es el desarrollo, ajuste o reformulación de modelos, hipótesis o marcos conceptuales que permiten explicar mejor un fenómeno, ampliar la comprensión de una disciplina o abrir nuevas preguntas de investigación.

desarrollo de nuevas empresas y tienen un rol clave para los ecosistemas de innovación (Hausberg & Korreck, 2020).

- *Aceleración*: Es la etapa en la que se busca impulsar el crecimiento y la consolidación de proyectos, emprendimientos o empresas de base científica y tecnológica que ya han superado fases iniciales de validación, con potencial para escalar rápidamente (Zuquette et al., 2024). Su propósito es acelerar la creación de empresas y preparar a los emprendedores para recibir capital, mediante servicios que incluyen formación en gestión, desarrollo de estrategias de crecimiento y preparación para inversión externa. Estos procesos, generalmente de 3 a 12 meses (OECD & European Commission, 2019), también ofrecen mentoría especializada, acceso a redes estratégicas y apoyo en aspectos regulatorios, de propiedad intelectual e internacionalización. De esta manera, la aceleración reduce el tiempo de llegada al mercado, potencia la sostenibilidad de las iniciativas y amplía su impacto.
- *Escalabilidad*: Es la fase en la que se consolida un sistema completo: un producto, proceso o servicio completamente desarrollado, reproducible y que ha demostrado su eficacia en condiciones reales. En esta etapa, ya se cuentan con mecanismos de transferencia tecnológica, como licencias, patentes, *spin-offs*⁷ o alianzas con universidades, centros de investigación y empresas para facilitar su crecimiento. El objetivo principal es lograr una adopción masiva en el mercado o la sociedad, de manera sostenible y eficiente, ampliando el impacto de la innovación y asegurando su impacto económico, social y científico a gran escala.

Modelos de decisión

Aunque no constituyen una etapa propia dentro de la cadena de valor de la ciencia, los modelos de decisión desempeñan un papel clave en cada una de sus fases, al ofrecer distintos enfoques para decidir qué tipo de gestión aplicar sobre los proyectos o productos tecnológicos. Su función es orientar la selección, priorización o descarte de las iniciativas, identificando las más viables y pertinentes según los objetivos estratégicos y las condiciones del entorno (Keeney & Raiffa, 1993). Al incorporar criterios técnicos, económicos y organizacionales, estas herramientas fortalecen la toma de decisiones informadas y la asignación eficiente de recursos. Es así, que el modelo de decisión elegido puede variar según el tipo de proyecto o producto, y de la etapa de la cadena de valor en la que se encuentre.

Uno de estos, es el modelo *stage-gate*, que organiza los proyectos en fases con “puertas” de control que verifican el cumplimiento de criterios antes de avanzar, reduciendo riesgos y facilitando el seguimiento (Cooper, 2015). Sin embargo, su estructura puede resultar limitada ante innovaciones muy disruptivas que demandan mayor flexibilidad. También se emplean modelos multicriterio que ponderan y comparan proyectos según múltiples dimensiones

⁷ Empresas nuevas que nacen a partir de investigaciones realizadas en instituciones académicas o científicas.

(Hwang & Yoon, 1981). Estos enfoques favorecen decisiones más equilibradas y transparentes, aunque su aplicación exige definir cuidadosamente los criterios.

Asimismo, los árboles de decisión permiten visualizar opciones y consecuencias bajo incertidumbre, facilitando la comparación de escenarios y la elección de alternativas óptimas (Clemen & Reilly, 2013). A nivel más estratégico, la gestión de portafolios considera los proyectos como un conjunto de inversiones orientadas a maximizar el retorno y la alineación con la estrategia organizacional (Cooper et al., 2001). Por su parte, modelos híbridos como el *agile stage-gate* combinan control y flexibilidad, integrando validaciones frecuentes y adaptación continua de los proyectos mientras avanzan (Cooper & Sommer, 2018).

Difusión de innovaciones

La teoría de la difusión de innovaciones complementa la lógica de los TRL, la cadena de valor y los modelos de decisión, dado que explica lo qué ocurre una vez que las tecnologías o soluciones están listas para llegar a la sociedad. Esta teoría propuesta por Rogers (1962) establece que la adopción de una innovación sucede gradualmente y siguiendo un patrón. Este proceso inicia con los innovadores que son los primeros en asumir riesgos y probar nuevas soluciones, luego continúa con los adoptadores tempranos que verifican la utilidad de la innovación y generan confianza en su valor se propaga a la mayoría temprana y la mayoría tardía que representan la adopción masiva de la innovación y, por último, los rezagados quienes solo incorporan la innovación una vez que esta se ha consolidado. Esto permite entender que la adopción de las innovaciones no es uniforme, sino que depende de factores sociales, culturales y económicos, lo que la convierte en un factor clave para diseñar estrategias de política pública que busquen acelerar y ampliar el impacto de la ciencia y la tecnología en la población.

Rogers identifica cinco factores determinantes que influyen en la aceptación y difusión de la innovación: la ventaja relativa, que se refiere al grado en que la innovación ofrece beneficios superiores frente a las alternativas existentes, la compatibilidad, entendida como la coherencia con los valores, experiencias y necesidades de los usuarios, la simplicidad o facilidad de uso, que facilita su apropiación, la posibilidad de prueba, que permite a los usuarios experimentar con la innovación antes de adoptarla en su totalidad, y la observabilidad, es decir, la visibilidad de sus resultados y beneficios en la práctica. Estos factores muestran que la difusión no es un proceso automático, sino que depende de la percepción social y del entorno en el que se introduce la innovación.

3.3. Experiencias internacionales

A lo largo de las secciones anteriores, el documento ha descrito el papel estructural de la ciencia y la innovación en la economía del conocimiento, los modelos de articulación entre actores y el proceso de maduración de las capacidades. Sobre esa base, este capítulo amplía la mirada hacia otros contextos nacionales y urbanos que han transitado procesos similares, ofreciendo referentes para comprender qué condiciones institucionales, políticas y territoriales favorecen la consolidación de ecosistemas científicos sólidos y sostenibles.

La selección de casos responde a criterios de comparabilidad estructural y relevancia estratégica para Bogotá. En primer lugar, se incluyen experiencias latinoamericanas con trayectorias institucionales y desafíos de desarrollo semejantes. Chile, por su modelo de gobernanza intermedia y su política de fondos de investigación aplicada, y Brasil, por la robustez de sus instrumentos de financiamiento, su articulación federativa y el liderazgo de sus agencias sectoriales. A nivel subnacional, se examinan los casos de Monterrey (México) y São Paulo (Brasil), reconocidos como ecosistemas ciudad-región que han logrado conectar universidades, empresas y gobiernos locales en torno a agendas de innovación territorial.

3.3.1. Experiencias de otros países.

Diversas experiencias internacionales han sido revisadas con el propósito de identificar modelos que puedan orientar el fortalecimiento de la educación superior y la articulación con los sistemas de ciencia, tecnología e innovación (CTeI). En este contexto, se han documentado iniciativas que, desde distintos enfoques institucionales y geográficos, han buscado mejorar la calidad académica, fomentar la investigación aplicada y promover la colaboración entre universidades, industria y gobierno. Aunque los objetivos y mecanismos varían entre países, todos comparten el interés por generar impactos sostenibles en el desarrollo económico y social. La revisión permitió identificar varios casos representativos y relevantes para este estudio considerando el tamaño de las economías, algunas características de contexto social, económico y de capacidades de investigación e innovación, así como ejemplos que sustentaron estrategias como Colombia Científica (estrategia que se describirá más adelante), que ofrecen aprendizajes relevantes para el diseño de políticas públicas en contextos similares.

- *Chile. Programa de Mejoramiento de la Calidad y Equidad de la Educación Superior (MECESUP)*

El Programa de Mejoramiento de la Calidad y Equidad de la Educación Superior (MECESUP) fue la inversión pública más significativa y sostenida en la historia de la educación superior chilena, con un monto de US\$645 millones. Implementado entre 1999 y 2016 con el apoyo del Banco Mundial, este programa buscó modernizar y expandir las universidades. Según Rifo et al. (2024), el objetivo principal fue mejorar la calidad y la equidad a través de la adopción de modelos de gestión estratégica inspirados en la *New Public Management* (NPM). Los mecanismos de financiación del programa evolucionaron en tres etapas, desde el Fondo Competitivo centrado en infraestructura, hasta los Convenios de Desempeño orientados a resultados institucionales (Salazar et al., 2022).

MECESUP articuló la relación entre el gobierno, la industria y la academia con un objetivo claro: "facilitar la transferencia de tecnología a la industria y la sociedad civil" (Salazar et al., 2022). El programa impulsó el fortalecimiento de la I+D+i mediante el apoyo a doctorados, la adquisición de equipamiento especializado y la creación de redes académicas. Un proyecto posterior del Banco Mundial, diseñado a partir de las lecciones de MECESUP,

continuó esta estrategia, fomentando redes de investigación que debían incluir a universidades y actores externos como el sector privado (Banco Mundial, 2017).

Entre los efectos positivos, el programa indujo una notable transformación institucional en las universidades. Salazar et al. (2022) destacan que MECESUP obligó a las instituciones a desarrollar planes estratégicos y adoptó un "cambio cultural" hacia la rendición de cuentas, lo que fortaleció el capital humano, la infraestructura de investigación y las redes académicas. Aunque los recursos se concentraron en universidades consolidadas, se observaron casos de instituciones menos prestigiosas que lograron ascender en la adjudicación de fondos (Rifo et al., 2024).

Sin embargo, el programa enfrentó desafíos significativos. Su naturaleza competitiva generó un "efecto Mateo⁸", donde las instituciones con mayores capacidades atrajeron la mayor parte de los recursos, ampliando las brechas. La duración corta de los proyectos, la excesiva burocracia y la falta de coordinación con otras entidades clave del sistema también limitaron su impacto. Salazar et al. (2022) critican que la evaluación se centró más en los indicadores de proceso que en los resultados a largo plazo.

Las lecciones aprendidas de MECESUP sugieren la necesidad de diversificar las herramientas de apoyo con "iniciativas más persistentes, focalizadas y no competitivas" para evitar perpetuar las desigualdades (Rifo et al., 2024). Se subraya también la importancia de una evaluación orientada al impacto a largo plazo, una mejor coordinación entre las políticas y la implementación de reformas que se arraiguen en la cultura académica. Pese a sus imperfecciones, el programa demostró que el cambio cultural e institucional es posible y ofrece valiosas lecciones para otros sistemas educativos (Salazar et al., 2022).

- Otras Estrategias en Chile

A pesar de la posición favorable de Chile en el Índice Global de Innovación, el país muestra un desarrollo inferior en sus "vinculaciones de la innovación" y el "estado de desarrollo de los clústeres" (Minatta & Basani, 2022; OMPI, 2021). Las estadísticas confirman que solo el 10% de las empresas chilenas cooperan en innovación, con tasas aún más bajas en la colaboración con instituciones de educación superior e investigación (Geldes, 2023).

En respuesta a estos desafíos, se han implementado diversas estrategias. Una de ellas es la Estrategia Nacional de I+D+i para la Resiliencia ante Desastres, impulsada por la Comisión CREDEN y luego institucionalizada en ITReND (de la Llera et al., 2018; Gil & Rivera, 2022). Su objetivo es posicionar la I+D+i como un pilar en la política pública de resiliencia, transformando los desafíos naturales en una oportunidad para el desarrollo de soluciones tecnológicas basadas en la ciencia (CREDEN, 2016; Gil & Rivera, 2022). En CREDEN

⁸ Acorde a visiones de psicología, el efecto mateo se refiere a la acumulación de diferencias quienes ingresan con mayores conocimientos desarrollan tasas de aprendizaje superiores a las de quienes ingresan con menores habilidades, de tal manera que quienes tienen ventajas iniciales tienden a acumular más ventajas y ampliar el rezago con quienes tenían desventajas. (Diuk, Ferroni, 2012)

participaron más de 80 expertos de diversos sectores (de la Llera et al., 2018). Para su implementación, se definieron cinco condiciones habilitantes: un marco institucional, la integración de datos e información, el desarrollo de capital humano avanzado, la infraestructura para la ciencia y la innovación, y la divulgación científica. ITReND, el instituto público que articula esta estrategia coordina la red de I+D+i, desarrolla capacidades y promueve la transferencia de conocimiento, demostrando un enfoque sistémico y colaborativo.

Ahora bien, el rol de la Educación Superior Técnico Profesional (ESTP) en el ecosistema de innovación chileno ha sido reforzado mediante diversas políticas. La Ley 21.091 de 2018 insta a los Institutos Profesionales y Centros de Formación Técnica a participar en actividades de generación y transferencia de conocimiento (Ley 21.091, 2018; Guevara Pezoa, 2023). La creación del Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación (Ley 21.105, 2018) y su Política Nacional de CTCI (Decreto 4, 2020) reconocen la necesidad de capital humano especializado y promueven la vinculación de la ESTP con el sector productivo (Guevara Pezoa, 2023).

Las buenas prácticas y efectos de estas estrategias incluyen la generación de redes intersectoriales e interdisciplinarias, consideradas el principal producto de la estrategia de resiliencia (Gil & Rivera, 2022). El desarrollo de un lenguaje común y la orientación hacia problemas reales resultaron cruciales para la comunicación y la utilidad de la investigación. Los programas de I+D que implican colaboración entre empresas e institutos (como FONDEF) han demostrado ser más efectivos para estimular la productividad que los subsidios a I+D intramural (Crespi et al., 2019). Finalmente, se ha observado un aumento en las políticas públicas que integran a la ESTP en el ecosistema de innovación, promoviendo alianzas estratégicas con el sector empresarial y el desarrollo de capital humano avanzado (Guevara Pezoa, 2023).

- *Brasil. Avances y Estrategias en la Promoción de la Investigación, el Desarrollo y la Innovación*

La promoción de la investigación, el desarrollo y la innovación (I+D+i) en Brasil se fundamenta en modelos como la "triple hélice" y la "cuádruple hélice", que integran la interacción entre universidades, empresas, gobierno y sociedad civil (Leydesdorff & Etzkowitz, 1998; Gonçalves, 2022; Maritan et al., 2024; Santos & Pinheiro, 2011; Yun & Liu, 2019). Un ejemplo histórico de esta política es la tercera fase del Programa de Apoyo al Desarrollo Científico y Tecnológico (PADCT III), implementada entre 1998 y 2002. Esta iniciativa incentivó la colaboración entre la academia y la industria. Su Componente de Desarrollo Tecnológico (CDT) exigía una contrapartida financiera del sector privado para los proyectos de investigación académica, apoyando 142 proyectos en áreas como Plataformas Tecnológicas y apoyo a pequeñas y medianas empresas. Según Passos et al. (2004), esta iniciativa sentó las bases para futuros programas.

El fortalecimiento de la I+D+i se apoya en un sólido marco legal. La Ley de Innovación (Ley N° 10.973/2004) y el Marco Legal de Ciencia, Tecnología e Innovación (Ley N° 13.243/2016) han sido cruciales para estimular la investigación en el ámbito productivo y promover alianzas estratégicas (Maritan et al., 2024; Santos & Pinheiro, 2011; Stal & Fujino, 2005). Estas leyes facilitan el uso compartido de activos de las Instituciones Científicas y Tecnológicas (ICTs) y la participación gubernamental como inversor de capital de riesgo. Otros pilares institucionales incluyen los Fondos Sectoriales (FS), establecidos desde 1999, que canalizan recursos para I+D en áreas estratégicas, como el Fondo Verde Amarelo y el programa Criatec. Por su parte, la Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (Embrapii), creada en 2013, actúa como un intermediario que cofinancia proyectos de innovación con empresas e ICTs, un modelo que ha demostrado ser altamente efectivo (Gonçalves, 2022; Santos & Salles-Filho, 2024).

Para materializar estas estrategias, se han desarrollado diversos entornos colaborativos. Los hubs de innovación y tecnología y los parques tecnológicos universitarios actúan como catalizadores del desarrollo regional, facilitando la interacción entre los diferentes actores. Ejemplos notables son el Hub de Innovación y Tecnología Senai/AC y el UTech de la Universidad de Sorocaba (Uniso), que ofrecen soporte técnico, laboratorios y un ambiente propicio para el desarrollo de proyectos. La sinergia entre la academia, la industria y el gobierno en estos espacios es clave para la competitividad económica (Gonçalves, 2022; Ching & Caetano, 2024; Maritan et al., 2024). La estructuración de los Núcleos de Inovação Tecnológica (NITs) en las ICTs, mandatorio por la Ley de Innovación, ha sido fundamental para la gestión de la innovación, la propiedad intelectual y la transferencia de tecnología. Este esfuerzo institucional ha tenido un impacto directo en el ecosistema, como señalan estudios recientes (Miranda et al., 2017).

Estas iniciativas han generado resultados significativos. El PADCT III aumentó la transferencia de tecnología y fortaleció las relaciones entre la academia y la industria, sentando las bases para programas posteriores. El modelo Embrapii, por ejemplo, ha duplicado la colaboración con la industria en publicaciones científicas, elevando la visibilidad de los investigadores, según Santos & Salles-Filho (2024). Por su parte, los NITs han impulsado un aumento de más del 74% en las patentes de invención entre 2000 y 2012, con las universidades figurando entre los principales solicitantes. El UTech de Uniso ha proporcionado a las empresas acceso a conocimientos y recursos, facilitando la investigación aplicada (Gonçalves, 2022).

3.3.2. Experiencias de ciudades a nivel mundial

- Monterrey: Innovación y Colaboración para una Economía del Conocimiento.

Las estrategias de I+D+i en Monterrey buscan la colaboración entre el gobierno, la industria y el sector educativo. Se centran en los parques tecnológicos y el modelo de la triple hélice. El Parque de Investigación e Innovación Tecnológica (PIIT), impulsado por el gobierno de Nuevo León, fomenta una economía del conocimiento, mientras que el Tecnológico de

Monterrey ha creado una red de 14 parques con el fin de capitalizar el conocimiento y generar entornos de emprendimiento (*Innovations for Successful Societies*, 2015; Molina & Romero, 2013). Ambas iniciativas buscan transformar el saber académico en riqueza para la región.

La gestión del PIIT está a cargo del Instituto de Innovación y Transferencia de Tecnología (I2T2), una agencia semiautónoma, con las empresas albergadas dedicadas exclusivamente a la investigación y el desarrollo. El parque se financia con inversión público-privada, incluyendo fondos del CONACYT. Por su parte, el Tecnológico de Monterrey ha desarrollado diversos modelos de parques para ofrecer servicios de *landing* a empresas extranjeras e incubación de negocios. La UANL también ha contribuido con la propuesta de Oficinas de Transferencia de Información (OTIS) para mejorar la comunicación entre los sectores (*Innovations for Successful Societies*, 2015; Molina & Romero, 2013; Beltrán Ibarra & Lagarda Leyva, 2015).

Un pilar fundamental es la formación de capital humano. La UANL, a través de la Cátedra Ternium-UANL, se ha enfocado en capacitar personal altamente especializado, integrando a estudiantes en proyectos industriales. Estas iniciativas ajustan los planes de estudio a las necesidades del mercado (Hinojosa Rivera et al., 2016; Molina & Romero, 2013). Además, los parques tecnológicos facilitan a las empresas el acceso a personal calificado para sus proyectos de I+D.

El impacto de estas iniciativas ha sido significativo. El PIIT ha atraído a 34 entidades, generando más de 1,500 empleos de alta cualificación. La colaboración entre la academia y la industria ha visto un notable incremento en propuestas conjuntas y la creación de cerca de 50 nuevos productos anuales (*Innovations for Successful Societies*, 2015). La Cátedra Ternium-UANL ha formado a numerosos profesionales, mientras que los parques del Tecnológico de Monterrey han albergado 152 empresas, creando 2,000 empleos. El éxito de estos esfuerzos se atribuye a un liderazgo fuerte, el compromiso de los actores y una comunicación efectiva (Hinojosa Rivera et al.; *Innovations for Successful Societies*, 2015). La creación de *spin-offs* universitarias también ha generado nuevas PYMES, contribuyendo al desarrollo social (Beltrán Ibarra & Lagarda Leyva, 2015).

En conclusión, la colaboración intersectorial en Monterrey, a través del modelo de la triple hélice, es una herramienta efectiva para optimizar recursos y garantizar que la formación de competencias en ingeniería sea pertinente para el mercado laboral. De esta manera, se fortalece el tejido económico y social de la región (Hinojosa Rivera et al., 2016; Beltrán Ibarra & Lagarda Leyva, 2015).

- *Ciudad de México: Programa de Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación 2020-2040*

En Ciudad de México se desarrolló el Programa de Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación, con el propósito base de fomentar la generación, producción y uso del conocimiento para la solución de los principales problemas a los que se enfrenta la ciudad,

a través de la articulación entre la academia, el gobierno, los sectores productivos y la sociedad civil. El programa parte de una medición de la capacidad de desarrollo e investigación de la ciudad, el potencial en innovación y desarrollo económico y la divulgación y fomento de la cultura científica. Este programa se coordina desde la Secretaría de Educación, Ciencia, Tecnología e Innovación de la Ciudad de México (SECTEI). Además, el programa considera también la formación de alto nivel como componente de las capacidades de la ciudad en investigación y desarrollo e innovación (Gobierno de la Ciudad de México, 2020).

El programa parte de la RED ECOS de Ciencia, Tecnología e Innovación creada en 2019 por la SECTEI como una estrategia articuladora que suma las capacidades colectivas, en función de analizar y atender las principales necesidades y problemáticas de la ciudad, mediante el vínculos interinstitucionales y transdisciplinarios entre los diversos agentes generadores de conocimiento, desarrollos tecnológicos e innovaciones. Esto incluye 35 instituciones educativas, 6 instituciones de salud, 8 instituciones gubernamentales y 20 asociaciones civiles que integran seis ejes de trabajo: seguridad y gestión integral de riesgos, desarrollo sustentable, educación, derechos y sociedad, ingeniería e innovación tecnológica, y Ciencias de la salud (Gobierno de la Ciudad de México, 2020).

A través de esta red se han impulsado proyectos de emprendimientos basados en innovación, y se habían apoyado 194 proyectos a 2022 en temas de agua, medio ambiente y energía, salud, producción alimentaria, transferencia de conocimiento, fomento a actividades científicas y tecnológicas, infraestructura para una ciudad inteligente, protección y obra civil, tecnologías para la economía circular y nuevos materiales, gestión tecnológica para la innovación abierta.

A partir de esta base, el Programa de Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación se planteó la creación de observatorios y sistemas de información para una toma de decisiones basada en evidencia científica a través de un sistema que articula los actores y definió un marco normativo flexible que incentive a más investigadores. Entre los objetivos, se busca promover una mayor oferta de programas de posgrado en áreas de interés para la ciudad, establecer programas de apoyo para la inserción laboral de jóvenes investigadores en el sector público y privado, y consolidar la incorporación de expertos locales e internacionales al sistema, fomentar la participación de la comunidad científica y tecnológica en el diseño, instrumentación y evaluación de políticas públicas de CTel, ampliar el financiamiento público-privado para el establecimiento de ecosistemas científico-tecnológicos que favorezcan el desarrollo regional, entre otros.

Entre los éxitos de la estrategia que parten del programa RED ECOS, se encuentra la creación de la Red de Sustentabilidad Alimentaria, del Centro de Investigación sobre el Envejecimiento, y la implementación de alianzas para el desarrollo de cómputo de alto rendimiento y sistemas de monitoreo ambiental. Mientras tanto, entre las lecciones aprendidas se encuentra la planeación presupuestal del programa, retos de calidad en la formación de alto nivel, y la necesidad de fortalecer el esquema de colaboración entre actores y de transferencia de conocimiento a través de experiencias (SECTEI, 2024).

- Sao Paulo: Parques tecnológicos y ambientes de innovación

En Sao Paulo se desarrolló una estrategia de espacios planificados llamados parques tecnológicos y ambientes de innovación, donde universidades, centros de investigación, empresas innovadoras, *startups* y gobiernos locales, encuentran un espacio para fomentar la transferencia tecnológica, ofrecer apoyos a emprendimientos innovadores, y fomentar el desarrollo regional basado en conocimiento (Gobierno del Estado de Sao Paulo, 2018). El modelo sigue los patrones de Silicon Valley adaptado al contexto de la ciudad.

Entre los objetivos de la estrategia está promover un tipo de modelo de triple hélice, que promueva la interacción entre universidades, sector privado y gobierno, impulsando la innovación tecnológica y el emprendimiento basado en innovación, atraer inversión extranjera y fomentar la formación de capital humano capacitado en las labores necesarias, facilitar la transferencia de conocimiento y resultados de investigación desde las universidades hacia el sector productivo, y fortalecer las capacidades tecnológicas de las PYMES, promoviendo encadenamientos productivos innovadores. (Gobierno del Estado de Sao Paulo, 2018).

La herramienta de implementación se compone del establecimiento de espacios físicos de encuentro entre los actores de las hélices, laboratorios compartidos, centros de prototipado y espacios que promuevan las etapas de incubación y aceleración en la cadena de valor de CTel. Así mismo, desde la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación de Sao Paulo, se promueven líneas de crédito y fondos de financiación para la innovación, algunos enfocados en PYMES, y servicios de apoyo empresarial de mentoría y asesoría en propiedad intelectual para la transferencia de conocimiento y la promoción de la innovación empresarial (*Ibid*).

Esta estrategia ha logrado consolidar un ecosistema robusto con más de 30 parques tecnológicos reconocidos, atrae inversión para diferentes sectores como aeronáutica, biotecnología, energía, agroindustria y salud, y consolidó uno de los mecanismos más eficaces de apoyo a innovación en PYMES en América Latina (FAPESP, 2023; Márquez, 2017).

Entre las lecciones aprendidas se evidencia que la infraestructura de los parques no es suficiente para abarcar el objetivo de interrelación entre las hélices, pues requiere también esquemas de gobernanza sólidos y con políticas alineadas entre sectores. Así mismo, se requieren esquemas presupuestales sostenibles a largo plazo, pues los parques enfrentan retos para mantenerse por los altos costos que implican y requieren inversión más allá del financiamiento público. Se requieren también promover actores que medien entre la ciencia y el mercado como oficinas de transferencia tecnológica que potencie los resultados de los parques como espacios de innovación (Moraes, Plonski, 2015; Leite, et.al., 2023).

3.4. Medidas y estrategias nacionales y distritales en Colombia

En Colombia, el fortalecimiento de la Ciencia, Tecnología e Innovación (CTel) se ha promovido a través de diversas políticas públicas y programas a nivel nacional y distrital. A continuación, se presentan las principales estrategias utilizadas para impulsar estos campos, fortalecer las capacidades institucionales, mejorar la articulación entre actores del sistema y fomentar la

conexión entre el conocimiento científico y las necesidades del desarrollo productivo y social del país y la ciudad.

3.4.1. Medidas nacionales

- *Política nacional de ciencia, tecnología e innovación 2022 - 2031*: a lo largo de la historia del país han existido diversas políticas orientadas al fortalecimiento de la CTel, sin embargo, esta es la más reciente. Contenida en el CONPES nacional 4069, tiene como objetivo convertir a Colombia en uno de los tres países líderes de América Latina en CTel, así como alcanzar una inversión del 1 % del Producto Interno Bruto (PIB) en investigación y desarrollo (I+D) para 2031. Esta política responde a los retos identificados por la Misión Internacional de Sabios⁹, convocada en 2019.

La política reconoce que la contribución de la CTel al desarrollo del país es limitada, y que, para aumentarla y promover una sociedad del conocimiento, se requiere incluir un enfoque diferencial, territorial y participativo, que permita atender las desigualdades y aprovechar el potencial de los territorios. En este marco, se plantean acciones orientadas a consolidar sistemas de CTel a nivel nacional y regional, a través de la estimulación de la producción, la transferencia del conocimiento, y el robustecimiento de procesos de investigación y creación.

Para lograr estos propósitos, la política se estructura en torno a siete ejes estratégicos: (i) fomento del talento y el empleo en CTel; (ii) mejora de la generación de conocimiento; (iii) aumento en la adopción y transferencia de tecnología; (iv) incremento de la apropiación social del conocimiento; (v) aprovechamiento de potencialidades regionales, sociales e internacionales; (vi) dinamización del Sistema Nacional de CTel (SNCTI); e (vii) incremento y optimización de la financiación en CTel.

Esto busca hacerse mediante una combinación de recursos públicos, incluyendo beneficios tributarios y asignaciones del Sistema General de Regalías (SGR). Además, de la participación de diferentes entidades como el Ministerio de Ciencia, Tecnología, e Innovación; el Ministerio de Comercio, Industria, y Turismo; el Departamento Nacional de Planeación (DNP) y el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), entre otras.

- *Colombia Científica*: esta iniciativa fue implementada entre 2017 y 2023, y liderada en conjunto por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, el Ministerio de Educación Nacional, el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, y el ICETEX. Su objetivo era el mejoramiento de la calidad de las instituciones de educación superior en el país y el desarrollo de la capacidad de investigación a nivel regional y nacional,

⁹Está compuesta por un grupo de 47 expertos nacionales e internacionales cuyo objetivo es aportar a la construcción e implementación de la política pública de Educación, Ciencia, Tecnología e Innovación, así como a las estrategias que debe construir Colombia a largo plazo, para responder a los desafíos productivos y sociales de manera escalable, replicable y sostenible.

a través del desarrollo experimental, el desarrollo tecnológico, la innovación y la creación de alianzas entre diferentes actores.

El programa se estructuró en torno a dos componentes principales: Ecosistema Científico y Pasaporte a la Ciencia. El primer componente tenía como propósito generar redes de conocimiento para contribuir a la solución de problemáticas y mejorar la productividad y competitividad del país. Por su parte, el componente de Pasaporte a la Ciencia tenía como objetivo otorgar créditos y becas al talento humano del país para cursar maestrías y doctorados.

En cuanto a los logros del programa, según datos del Banco Mundial, este conectó 39 universidades públicas y privadas, 56 entidades internacionales de 20 países, entidades gubernamentales, empresas y comunidades para abordar desafíos en cinco áreas: salud, energía sostenible, seguridad alimentaria, bioeconomía y reconstrucción social en zonas del posconflicto. Además, más de 1.200 investigadores participaron en los proyectos científicos financiados por el programa, y 1.081 personas recibieron formación de alto nivel, incluyendo estudiantes y docentes.

Además, el programa contribuyó a que 15 de las 18 universidades no acreditadas que participaban en el programa avanzaran en este proceso, por medio de planes de fortalecimiento institucional. También, se superaron las metas producción científica y tecnológica en un 133,5%, logrando un aporte de cerca de 4.400 nuevos productos científicos, incluyendo 66 prototipos industriales, 44 productos patentables, 10 patentes y 10 empresas basadas en tecnología.

Este programa dejó valiosas lecciones para el diseño y la gestión de estrategias de CTel en el país. Por un lado, el componente de Ecosistema Científico mostró que la conformación de alianzas estratégicas entre universidades, empresas y entidades públicas puede fortalecer las capacidades científicas y tecnológicas, siempre que existan mecanismos de gobernanza claros y sostenibles (Vergara, et al., 2024. Alianzas que transforman un país: el caso de Ecosistema Científico en Colombia. Bogotá, Colombia: Banco Mundial.). Además, se evidenció que la articulación entre investigación y formación avanzada permite generar impactos más duraderos, especialmente cuando se orienta hacia retos nacionales y regionales.

Asimismo, el programa dejó lecciones aprendidas relevantes, entre las cuales destacan la necesidad de contar con una mayor flexibilidad presupuestal para adaptarse a las dinámicas propias de los proyectos, la complejidad de los esquemas de gobernanza, que dificultó la articulación efectiva entre las instituciones participantes, y la ausencia de una ruta clara hacia la comercialización de los resultados, que limitó el aprovechamiento y aplicación del conocimiento generado. Estos aprendizajes, evidencian desafíos técnicos y administrativos que resaltan la importancia de diseñar estrategias de CTel más flexibles, con mecanismos de

gobernanza más ágiles, indicadores de desempeño precisos y procesos de evaluación continua.

3.4.2. Medidas distritales

- *Política pública de ciencia, tecnología e innovación 2019-2038:* contenida en el documento CONPES distrital 04, tiene como objetivo de fortalecer el Ecosistema Regional de Ciencia, Tecnología e Innovación¹⁰ y de ese modo transformar a Bogotá en una sociedad del conocimiento y una ciudad-región innovadora, competitiva y sostenible. Esta política parte de reconocer el desaprovechamiento de las capacidades existentes de CTel en la ciudad, así como de la necesidad de fortalecer las capacidades en investigación, gestión tecnológica y las diversas dimensiones relacionadas con la generación y aplicación de conocimiento.

Para lograr lo anterior, se pretende consolidar a la educación y la investigación con enfoque al desarrollo de capacidades endógenas en CTel, potenciar la innovación empresarial y la competitividad de las cadenas de producción y generar procesos de innovación social y pública que aporten a lograr un desarrollo humano sostenible. Esto con un enfoque transversal de derechos humanos, género, diferencial, territorial y ambiental buscando responder de manera integral a los retos de sostenibilidad ambiental, económica y social.

- *Política pública de productividad, competitividad y desarrollo socioeconómico 2011-2038:* Formulada y aprobada mediante el Decreto Distrital 064 de 2011 y contenida en el CONPES distrital 25, busca fomentar el desarrollo económico de Bogotá, con un enfoque centrado en las personas como factor clave del crecimiento económico. Esta política establece que el desarrollo socioeconómico debe ser entendido como un proceso sostenible y humano, impulsado por el fortalecimiento y ampliación de capacidades y oportunidades, la inclusión productiva, y la creación de condiciones para un crecimiento equitativo.

Además, reconoce la importancia de aumentar los esfuerzos en Ctel, así como el aprovechamiento de las aglomeraciones económicas¹¹, que permitan a las empresas de la ciudad recuperar sus niveles de producción, incrementar su productividad y diversificar sus productos. Esta política se encuentra directamente articulada con la Política Pública de CTel 2019–2038, con la que comparte objetivos como el desarrollo de capacidades, la promoción del emprendimiento, y la consolidación de un distrito de innovación.

¹⁰ Entendido como el conjunto de redes de agentes públicos, privados y educacionales que interactúan en un territorio específico, aprovechando una infraestructura particular para los propósitos de adaptar, generar y/o difundir innovaciones tecnológicas.

¹¹ Concentración en un área geográfica determinada de proveedores, consumidores, competidores, inversionistas, entre otros, todos vinculados entre sí.

Para ello, propone mejorar la productividad de las empresas, fomentar condiciones para mejorar la empleabilidad y la generación de ingresos, potenciar las economías de aglomeración y aumentar las interacciones y el flujo de ideas entre actores.

4. Diagnóstico

Bogotá concentra cerca del 35 % de los grupos de investigación y del personal calificado en CTel del país, consolidándose como el principal polo científico y tecnológico nacional. Este liderazgo se refleja en su posicionamiento internacional: según el *Global Innovation Index 2025* (WIPO), Colombia ocupa el puesto 71 entre 139 economías, destacando en importaciones de alta tecnología (15), valoración de unicornios (24) y capitalización de mercado (49). A nivel interno, Bogotá-Cundinamarca lidera el Índice Departamental de Innovación¹² (IDIC) 2022 con 75,9 puntos, lo que la convierte en el territorio más innovador del país gracias a sus fortalezas en educación, infraestructura, tecnología y economía creativa, aunque enfrenta retos en inversión empresarial en I+D y sostenibilidad (DNP & OCyT, 2023).

En el contexto regional, Colombia se ubica como la quinta economía más innovadora de América Latina, detrás de Chile (51), Brasil (52), México (58) y Uruguay (68). En materia de emprendimiento, el informe *StartupBlink 2025* reporta un crecimiento del ecosistema del +22,3 % frente a 2024, situando a Colombia en el puesto 36 de 100. Bogotá concentra la mayor parte de este dinamismo, ocupando el puesto 62 global y siendo la tercera ciudad más destacada de América Latina, después de São Paulo (23) y Ciudad de México (58), lo que demuestra su capacidad para atraer talento y capital emprendedor.

Sin embargo, estos avances conviven con rezagos persistentes en la transferencia tecnológica y el aprovechamiento del conocimiento. El Índice Subnacional de Emprendimiento (ISE 2024) del Consejo Privado de Competitividad otorga a Bogotá una calificación promedio de 6,42/10, superior a Medellín (5,54) y Manizales (4,88), pero con brechas notorias en grupos de investigación (4,5/10), patentes concedidas (5,75/10), empresas *spin-off* (0/10) e inversión empresarial en innovación (4,99/10). Esto demuestra que las capacidades científicas y tecnológicas de la ciudad no se traducen en resultados tangibles de innovación aplicada ni en escalamiento tecnológico. A ello se suma que la inversión privada en I+D+i continúa representando menos del 0,3 % del PIB regional, un valor considerablemente inferior al de las economías de ingreso medio-alto, lo que impide cerrar el ciclo entre investigación y productividad.

El contraste entre el avance en emprendimiento y la debilidad en innovación aplicada revela una fragmentación estructural del sistema de CTel. Aunque Bogotá lidera la creación de *startups* en

¹² El Índice Departamental de Innovación para Colombia (IDIC) es una herramienta creada por el Departamento Nacional de Planeación y el Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología que mide y compara las capacidades y condiciones para la innovación en los departamentos del país, identificando fortalezas y oportunidades de mejora. Se basa en la adaptación del Global Innovation Index al contexto colombiano y se estructura en dos subíndices (Insumos y Resultados) y siete pilares.

sectores como transporte inteligente (20° global, 1° regional) y tecnologías limpias (23° global), la baja producción de propiedad intelectual y de empresas basadas en conocimiento muestra que buena parte de la actividad innovadora se concentra en servicios y no en tecnologías de frontera. Esta desconexión entre la generación y la aplicación del conocimiento restringe la capacidad de la ciudad para mejorar su productividad total de los factores (PTF, apenas 1,36 % en 2024) y para consolidar sectores de alto valor agregado. En consecuencia, Bogotá se mantiene como un centro con alto potencial científico y empresarial, pero con un ecosistema de innovación que crece en volumen más que en integración e impacto sostenible.

En ese sentido, este diagnóstico busca caracterizar la incapacidad de Bogotá para transformar de manera sostenida su conocimiento científico en innovación aplicada y valor público. El problema central que se analiza es que, pese a su concentración de capacidades científicas y tecnológicas, la ciudad presenta un sistema de CTel fragmentado y poco articulado, donde la producción de conocimiento no se traduce de manera efectiva en innovación, productividad ni impacto social. Para abordar este problema, la información se organiza en dos bloques analíticos: (1) efectos estructurales que evidencian la brecha entre ciencia y desarrollo, y (2) causas sistémicas y manifestaciones funcionales que muestran cómo opera dicha desconexión dentro del ecosistema bogotano¹³.

4.1. Efectos económicos y sociales.

El fortalecimiento de la CTel genera impactos que trascienden el ámbito académico y se proyectan sobre las dimensiones económica, social y ambiental del desarrollo territorial. En el caso de Bogotá, comprender los beneficios asociados a la consolidación de un ecosistema de CTel permite valorar su papel como instrumento de transformación estructural, capaz de dinamizar la productividad, promover la equidad y mejorar la calidad de vida de la población. Esta sección tiene como propósito identificar y analizar estos ámbitos, estableciendo las relaciones entre la inversión en conocimiento y sus efectos sobre la estructura productiva, el bienestar ciudadano y la sostenibilidad urbana.

¹³ Una de las tensiones inevitables en cualquier diagnóstico de ciencia, tecnología e innovación es la escasez de indicadores directos que midan la transformación del conocimiento en innovación aplicada, adopción o impacto social. La literatura especializada ha documentado esta dificultad, mostrando que los indicadores tradicionales suelen centrarse en insumos (gasto en investigación y desarrollo, recursos humanos) o outputs inmediatos (publicaciones, patentes), pero quedan vacíos en los procesos intermedios de transferencia, validación y escala (de Moraes Silva, 2022).

Además, las definiciones heterogéneas de innovación, los desfases temporales entre inversión y resultado, y la fragmentación institucional dificultan la construcción de una medición unívoca para describir un problema como para atribuirle causas (Stundziene, 2024). Adicionalmente, Ortiz-Núñez, Novo-Castro y Casate-Fernández (2023) muestran que los sistemas estadísticos suelen carecer de información territorializada, lo que limita la capacidad de comparar regiones y evaluar políticas subnacionales. En este contexto, los diagnósticos deben apoyarse en evidencia convergente, que consiste en usar múltiples fuentes y tipos de indicadores, cruzarlos con teoría y comparar con referentes para inferir la existencia del problema estructural.

4.1.1. Efectos económicos

La ciencia en la estructura productiva de la ciudad.

Analizar la estructura productiva de la ciudad, entendida como la distribución del valor agregado entre los distintos sectores económicos, es fundamental para explorar el rol en la generación de valor público del conocimiento científico y tecnológico. Si el conocimiento científico y tecnológico se convirtiera de manera sostenida en innovación, sería razonable esperar una expansión de los sectores intensivos en conocimiento.

No obstante, este análisis es particularmente desafiante con la estructura de cuentas nacionales vigente en Colombia. El DANE organiza la producción por ramas a partir de la Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU). Si bien esta clasificación en su mayor nivel de detalle señala actividades de conocimiento científico y tecnológico, las cuentas nacionales se organizan en categorías agregadas que diluyen estas actividades en la rama “actividades profesionales, científicas y técnicas”, junto a servicios jurídicos, contables, de ingeniería y publicidad, entre otros.

Con ese contexto, la tabla 4 presenta el Producto Interno Bruto (PIB) de Bogotá desagregado por actividades económicas a partir de la CIIU. Lo primero que se puede observar es que la matriz productiva de la ciudad se basa en la intermediación, el consumo y los servicios personales. En 2024, los sectores de comercio, transporte, alojamiento y servicios de comida concentraron el 18,8 % del PIB, confirmando el predominio de servicios tradicionales y de consumo interno.

Si se agregan las actividades inmobiliarias (12,5 %), financieras y de seguros (9,7 %), el resultado es una economía donde más del 40 % del valor agregado se genera en sectores con baja intensidad tecnológica.

En segundo lugar, se observa una desindustrialización progresiva. Las industrias manufactureras, que en 2005 representaban el 13,2 % del PIB, apenas alcanzan el 7,5 % en 2024, una pérdida de casi seis puntos porcentuales en dos décadas. Finalmente, las actividades profesionales, científicas y técnicas representaron el 8,7 % del PIB en 2024, prácticamente el mismo peso que en 2005 (9,0 %). Su crecimiento ha sido real en valor absoluto, pero no proporcional al aumento del tamaño total de la economía.

Tabla 4. Producto interno bruto de Bogotá D.C. (PB)- Enfoque de producción (Valores en Miles de Millones de pesos constantes)

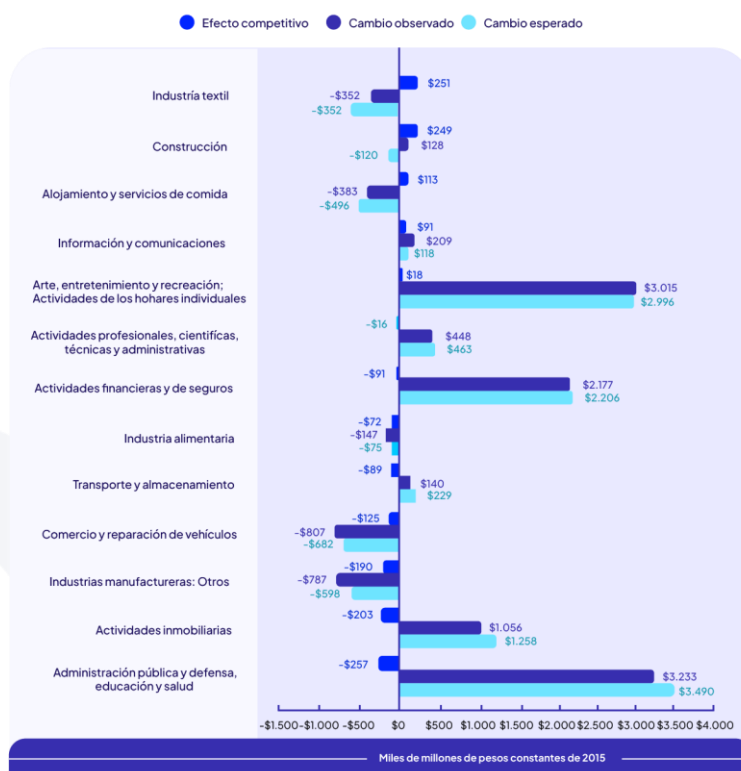
Concepto	2005		2015		2023		2024	
	Valores	Participación	Valores	Participación	Valores	Participación	Valores	Participación
Agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca	3	0,01%	3	0,01%	4	0,01%	4	0,01%
Explotación de minas y canteras	60	0,17%	83	0,16%	82	0,12%	77	0,11%
Industrias manufactureras	4.549	13,23%	4.955	9,55%	5.034	7,64%	5.060	7,48%
Suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado; Distribución de agua; evacuación y tratamiento de aguas residuales, gestión de desechos y actividades de saneamiento ambiental	806	2,35%	1.014	1,95%	1.123	1,71%	1.083	1,60%
Construcción	2.107	6,13%	2.523	4,86%	2.225	3,38%	2.379	3,52%
Comercio al por mayor y al por menor; reparación de vehículos automotores y motocicletas; Transporte y almacenamiento; Alojamiento y servicios de comida	6.047	17,59%	10.102	19,48%	12.127	18,42%	12.729	18,81%
Información y comunicaciones	1.365	3,97%	2.385	4,60%	3.277	4,98%	3.272	4,84%
Actividades financieras y de seguros	1.814	5,28%	4.260	8,21%	6.634	10,07%	6.552	9,68%
Actividades inmobiliarias	4.934	14,36%	6.993	13,48%	8.299	12,60%	8.464	12,51%
Actividades profesionales, científicas y técnicas; Actividades de servicios administrativos y de apoyo	3.107	9,04%	4.700	9,06%	5.856	8,89%	5.875	8,68%
Administración pública y defensa; planes de seguridad social de afiliación obligatoria; Educación; Actividades de atención de la salud humana y de servicios sociales	4.949	14,40%	7.190	13,86%	9.822	14,91%	10.253	15,15%

Actividades artísticas, de entretenimiento y recreación y otras actividades de servicios; Actividades de los hogares individuales en calidad de empleadores; actividades no diferenciadas de los hogares individuales como productores de bienes y servicios para uso propio	1.421	4,13%	2.192	4,23%	4.347	6,60%	4.678	6,91%
Valor agregado bruto	31.033	90,30%	46.425	89,51%	58.629	89,03%	60.328	89,13%
Impuestos menos subvenciones sobre los productos	3.239	9,42%	5.449	10,50%	7.244	11,00%	7.386	10,91%
Producto Interno Bruto	34.368	100,00%	51.866	100,00%	65.852	100,00%	67.682	100,00%

Fuente: DANE, SDDE (Convenio 516 de 2024). PB

Adicionalmente, la Secretaría de Desarrollo Económico (SDE, 2025) realiza un análisis de descomposición estructural para Bogotá y encuentra que la localización en Bogotá de “Actividades profesionales, científicas, técnicas y administrativas” no genera ningún efecto competitivo en materia de valor agregado frente a los resultados nacionales.

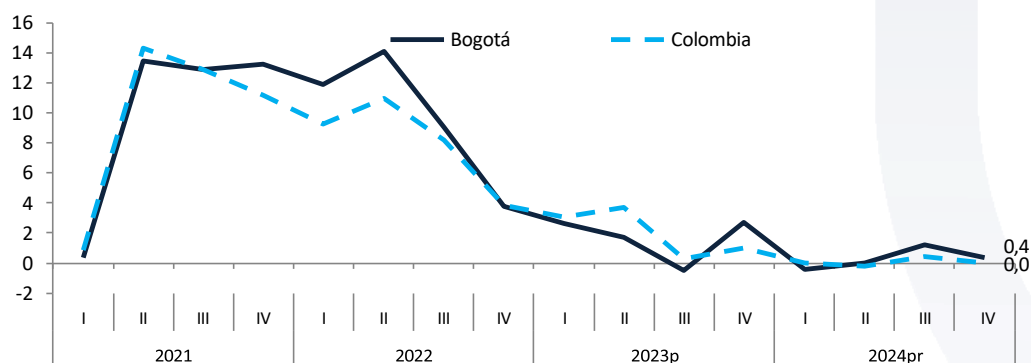
Figura 2. Análisis *shift-share* de la variación absoluta del valor agregado en Bogotá vs Colombia. 2022-2024



Fuente: DANE-Cuentas nacionales. Elaboración SDDE-ODEB (2025)

Lo anterior indica una fuerte correlación entre Bogotá y la Nación en el sector de “Actividades profesionales, científicas, técnicas y administrativas”. Esa correlación se expresa en la manera en la que no se observan diferencias significativas en el ritmo de crecimiento del sector en ambos niveles territoriales.

Variación anual Actividades profesionales, científicas y técnicas de Bogotá y Colombia
Porcentaje, I-2021/IV-2024pr



Fuente : DANE - Secretaría Distrital de Desarrollo Económico (convenio 516 de 2024)

Series corregidas de efectos estacionales y de calendario

P: Provisional; Pr: Preliminar

Estos patrones muestran que mientras Bogotá ha logrado sostener tasas de crecimiento económico estables (3 % promedio 2015–2024), su matriz productiva no se ha reconfigurado en favor del conocimiento. La economía se ha expandido, pero no se ha sofisticado, y el crecimiento sigue basándose en la ampliación del trabajo y del capital físico, más que en el aprendizaje tecnológico o la productividad del conocimiento. Desde la teoría del crecimiento endógeno (Romer, 1990; Aghion & Howitt, 2006), esto significa que las innovaciones generadas en el sistema científico no circulan eficazmente hacia las actividades económicas.

La productividad de Bogotá.

En el apartado anterior se mostró que la ciudad conserva una economía dominada por sectores de servicios tradicionales y con una densidad de conocimiento aún limitada. El siguiente paso es observar cómo ese patrón estructural se refleja en la productividad, es decir, en la capacidad del sistema económico para generar más valor con los mismos recursos. En un ecosistema de innovación maduro, la productividad crece cuando el conocimiento se incorpora de forma amplia a la producción, la gestión pública y los servicios sociales; cuando no lo hace, el crecimiento económico se sostiene por expansión del empleo y del capital físico, no por eficiencia¹⁴.

El indicador natural para esa medición es el de la Productividad Total de los Factores (PTF). La PTF mide cuánto crece la producción (PIB) que no puede explicarse por el aumento en la cantidad de insumos utilizados (trabajo y capital). Es el componente del crecimiento económico atribuible al progreso tecnológico, la innovación, la organización y el aprendizaje. No obstante, las cuentas nacionales oficiales no hacen ese cálculo territorializado. Dada esa circunstancia, caracterizaremos la PTF a nivel nacional y contextualizaremos con información de la productividad laboral para Bogotá.

¹⁴ Desde la teoría del crecimiento endógeno (Romer, 1990; Lucas, 1988), la productividad total es el indicador que mejor sintetiza el grado de aprendizaje colectivo y tecnológico de una economía. Sin embargo, como lo advierten Aghion y Howitt (2006) o Mazzucato (2018), la productividad no depende solo de la generación de conocimiento, sino de la existencia de mecanismos que permitan su adopción.

De acuerdo con el Boletín Técnico del DANE (2025), la economía colombiana registró en 2024 un crecimiento real del valor agregado de 1,84 %. De ese crecimiento los servicios de capital aportaron 0,70 %, los servicios laborales restaron 0,22 % y PTF explicó 1,36 % del aumento del valor agregado. Si bien en 2024 la PTF tuvo un rol importante de cara al crecimiento, es necesario considerar que: 1) la PTF registró un aumento significativo (1,36 %), su nivel más alto en casi dos décadas y muy superior al promedio histórico (0,02 % entre 2005 y 2023); este resultado sugiere una mejora puntual en la eficiencia del uso de los factores, aunque su sostenibilidad aún es incierta, ya que el crecimiento agregado de la economía (1,84 %) fue bajo y las ganancias de productividad se concentraron en pocos sectores; 2) el trabajo restó (-0,22 p.p.), señal de débil absorción laboral e inclusión limitada; 3) el capital TIC explicó apenas +0,01 p.p, lo que indica la digitalización y el capital tecnológico no están siendo el motor y 4) las ganancias de PTF se concentraron en pocos sectores, como agricultura y servicios sociales, mientras manufactura y minería mostraron PTF negativa.

Figura 3: Productividad por actividad económica Valor agregado bruto, servicios laborales, servicios de capital, contribución de los factores y productividad total de los factores 2024 (Valores proyectados)

Actividad Económica	Valor Agregado Bruto	Servicios laborales			Servicios de capital			Contribución de los factores	PTF
	Tasas de crecimiento volumen anual (%)	Aporte al crecimiento del valor agregado (%)			Aporte al crecimiento del valor agregado (%)			Aporte al crecimiento del valor agregado (%)	Aporte al crecimiento del valor agregado (%)
		Composición del trabajo	Horas trabajadas	Laboral Total	Capital no-TIC	Capital TIC	Capital Total		
Agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca	7,83	0,19	-0,68	-0,50	0,79	0,00	0,79	0,30	7,53
Minería y extracción	-5,32	-1,43	0,99	-0,45	1,15	-0,03	1,12	0,68	-6,00
Industrias manufactureras	-2,00	0,29	0,33	0,62	1,28	0,00	1,28	1,90	-3,91
Electricidad, gas y agua	2,25	-0,29	-0,65	-0,93	1,09	0,00	1,10	0,16	2,09
Construcción	1,87	0,04	-1,44	-1,39	-0,02	0,00	-0,02	-1,41	3,29
Comercio, hoteles y restaurantes	1,13	0,52	0,75	1,28	0,36	-0,01	0,35	1,63	-0,50
Transporte, almacenamiento y comunicaciones	1,06	-0,38	-1,67	-2,05	0,04	0,09	0,13	-1,92	2,98
Intermediación financiera, actividades inmobiliarias, empresariales y de alquiler	0,88	0,27	-1,15	-0,88	1,36	0,02	1,38	0,50	0,38
Actividades de servicios sociales, comunales y personales	4,71	-0,37	0,45	0,08	0,13	0,00	0,13	0,21	4,49
Total	1,84	-0,01	-0,21	-0,22	0,69	0,01	0,70	0,48	1,36

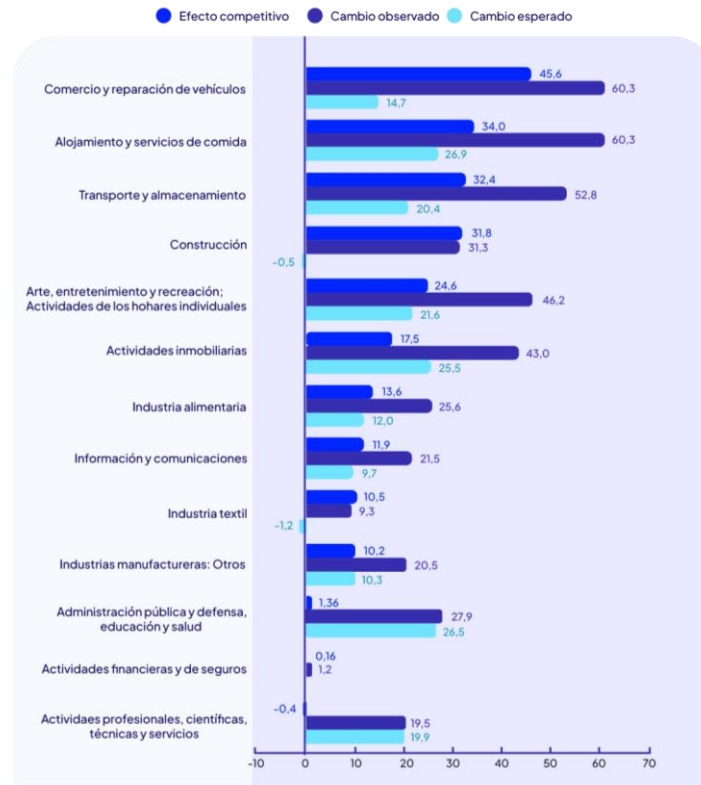
Fuente: DANE, Cuentas Nacionales. Elaboración DANE (2024)

En Bogotá la productividad laboral, calculada como el valor agregado real producido por hora trabajada, muestra un dinamismo muy importante a nivel agregado¹⁵. Durante el 2024, siete sectores crecieron en productividad laboral por hora trabajada, y aquellos asociados al macrosector de servicios fueron los que mejor desempeño mostraron en el mediano plazo, ya que crecieron de manera positiva tanto en 2024 como en 2023 con un efecto competitivo frente a la nación, también positivo. Sin embargo, las “Actividades profesionales, científicas, técnicas

¹⁵ La SDE explica que para hacer este cálculo se utilizaron los valores promedio de horas trabajadas en la semana por trabajador obtenidos de la GEIH para cada año de referencia, y se multiplicó este valor por el número total de semanas en un año (52 semanas) y por el número total de personas ocupadas en cada uno de los sectores económicos de análisis. Una vez obtenido este valor, se tomó PIB real calculado en pesos constantes de 2015 para cada año de referencia y para cada sector, y se dividió por el número total de horas trabajadas en el año para ese mismo sector, obteniendo así un resultado de valor agregado por hora trabajada en cada uno de los años.

y administrativas” muestran un crecimiento positivo en productividad, pero sin ningún efecto competitivo frente a la nación.

Figura 4. Análisis *shift-share* de la variación absoluta de la ocupación en Bogotá vs Colombia 2022-2024



Fuente: DANE-Cuentas nacionales. Elaboración SDDE-ODEB (2025)

La literatura sobre crecimiento endógeno y economías urbanas permite entender por qué Bogotá puede ser altamente productiva sin que esa productividad provenga directamente de su base científica. En los modelos de Romer (1986, 1990), el progreso técnico surge del *learning by doing*, entendido como el aprendizaje acumulado en la práctica productiva genera externalidades positivas y rendimientos crecientes. Por su parte, Duranton y Puga (2004) adaptan esa lógica al territorio y muestran que las ciudades concentran productividad por *learning by interacting*, lo que quiere decir que la proximidad entre empresas y trabajadores acelera la difusión de conocimiento tácito, aunque no siempre de innovación formal. En el caso de Bogotá, ambos mecanismos parecen operar de manera limitada y fragmentada, pues la ciudad acumula experiencia y densidad económica, pero el aprendizaje permanece confinado en los márgenes sectoriales, sin traducirse en aumentos sostenidos de eficiencia o adopción tecnológica.

Comercio exterior de Bogotá.

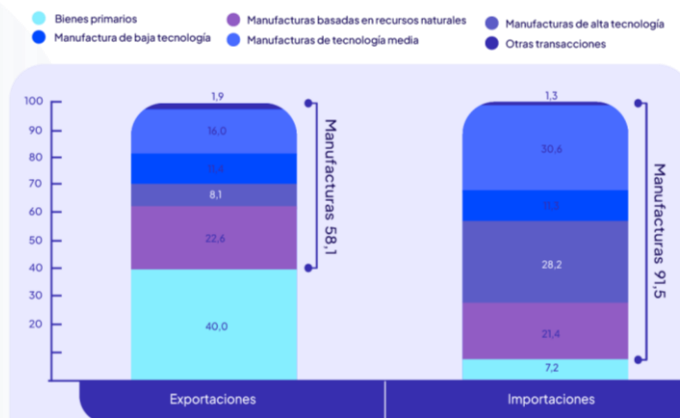
En los apartados anteriores se mostró que Bogotá posee una estructura económica diversificada, con un relativo proceso de desindustrialización y un sector científico sin mayores protagonismos. Los aumentos en productividad posiblemente se explican más por aglomeración y experiencia, que por difusión tecnológica¹⁶. El análisis del comercio exterior permite observar las consecuencias de esa dinámica, revisando cómo se proyecta la ciudad en los mercados globales y qué tipo de conocimiento se incorpora o se exporta.

En la teoría de la complejidad económica (Hausmann & Hidalgo, 2014), el comercio exterior es un indicador privilegiado del contenido de una economía. Los bienes y servicios que un territorio logra colocar en el mundo reflejan las capacidades productivas, tecnológicas e institucionales que ha logrado articular internamente. Por eso estudiar la canasta exportadora e importadora no sólo describe flujos comerciales, sino que permite medir qué tanto el conocimiento científico y tecnológico se ha convertido en capacidades económicas efectivas.

La estructura del comercio exterior de Bogotá es una expresión visible de las tensiones ya descritas en los apartados anteriores. Según la Secretaría de Desarrollo Económico (2025), el valor anual de las exportaciones de Bogotá ronda los tres mil millones de dólares, mientras las importaciones superan los veinte mil millones. La capital aporta cerca del 15 % de las exportaciones y más de la mitad de las importaciones nacionales, confirmando su papel como centro logístico y tecnológico del país. Sin embargo, el contenido tecnológico de lo que la ciudad vende y compra revela una asimetría estructural: exporta bienes y servicios de baja y media complejidad, pero importa bienes de capital y tecnología avanzada.

La figura 5 que se muestra a continuación contiene los datos de la composición de las exportaciones e importaciones a partir de la clasificación tecnológica de los bienes. De acuerdo con esta información, la mayoría de los productos bogotanos corresponden a categorías de bajo y medio contenido tecnológico. Predominan los bienes editoriales, textiles, alimentarios y plásticos, junto con manufacturas livianas y productos químicos de complejidad media. Solo una fracción pequeña puede considerarse de alta tecnología, como ciertos dispositivos médicos, farmacéuticos o programas de *software* empaquetado. Por el contrario, las importaciones se concentran en maquinaria, equipos eléctricos, productos electrónicos y farmacéuticos, es decir, en bienes de alta tecnología.

Figura 5: Composición de las exportaciones e importaciones según tipo en Bogotá, 2024p



Estos datos muestran que Bogotá tiene una apertura tecnológica asimétrica. La ciudad absorbe tecnología más rápido de lo que la genera, reproduciendo el patrón de economía intermedia descrito por Pavitt (1984) y Lall (2000), en el que hay empresas y sectores que innovan a través de la adopción, no de la invención. El comercio exterior, en lugar de ser un canal de *learning by exporting*, se convierte en un mecanismo de consumo de tecnología exógena, lo que limita el aprendizaje colectivo.

Esta situación coincide con lo que Gereffi, Humphrey y Sturgeon (2005) denominan *inserción subordinada* en las cadenas globales de valor. Bogotá ocupa los eslabones intermedios, ligados a servicios empresariales y manufacturas de complejidad media, pero no controla los nodos de diseño, I+D ni propiedad intelectual. El valor agregado local de sus exportaciones, por tanto, proviene del trabajo y la organización, no del conocimiento creado internamente.

Desde la teoría de la complejidad económica (Hausmann & Hidalgo, 2014), esta estructura equivale a un escenario de diversidad sin sofisticación, en el que la ciudad produce y exporta una amplia gama de bienes y servicios, pero pocos requieren capacidades tecnológicas avanzadas. La economía es amplia, pero poco profunda en términos de conocimiento. Y, como señalan la OCDE (2021) y la CEPAL (2023), las economías que no logran aumentar la sofisticación de su comercio exterior tienden a estancarse en una trampa de productividad media, donde los avances de eficiencia no se traducen en innovación acumulada.

Débil demanda de empresas por innovación (macro) / Encuestas DANE.

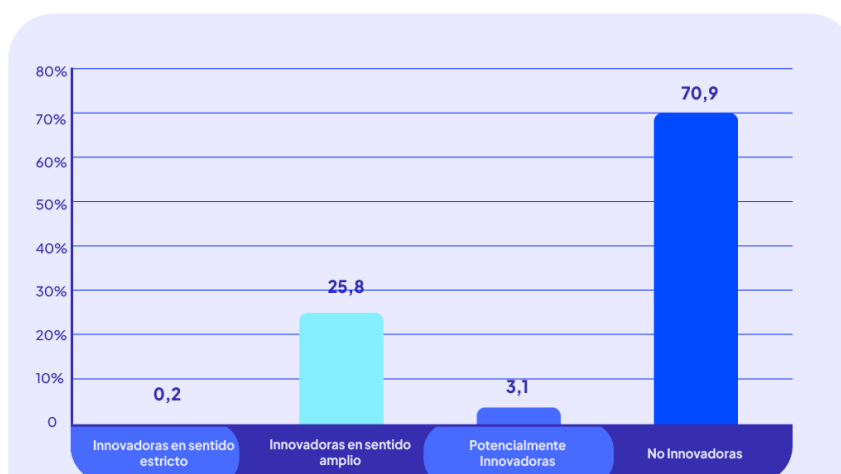
En Colombia, tanto en la industria manufacturera como en los sectores de servicios y comercio, se evidencia una baja demanda de innovación. Esta situación se debe principalmente a la falta de interés estratégico en incorporar procesos o productos nuevos, la priorización de otras áreas empresariales y limitaciones estructurales como la infraestructura insuficiente. En los sectores de servicios y comercio, la intención de innovar es mínima, lo que refleja una cultura empresarial poco orientada hacia la transformación tecnológica y la mejora de la competitividad.

El DANE (2021) define la innovación empresarial en la Encuesta de Desarrollo e Innovación Tecnológica (EDITS) como la introducción en el mercado de un producto, bien o servicio, nuevo o mejorado, o la implementación de un proceso nuevo o mejorado que difiera de manera significativa respecto a los realizados previamente por la empresa. Esta definición se centra en productos y procesos que son nuevos para la empresa, aunque no necesariamente lo sean para el mercado en el que compete. Asimismo, no se consideran innovación empresarial los cambios meramente estéticos ni las modificaciones simples en la organización o gestión empresarial.

- Industria manufacturera

En el sector manufacturero para el año 2020 la mayoría de las empresas no habían incorporado innovaciones significativas en sus procesos o productos. Según la Figura 6, de 6.799 empresas manufactureras, el 70,9% fueron clasificadas como no innovadoras, mientras que solo el 0,2% alcanzaron el nivel de innovación en sentido estricto, es decir, con productos o procesos nuevos en el mercado internacional. Por otro lado, el 25,8% fueron consideradas innovadoras en sentido amplio y apenas el 3,1% como potencialmente innovadoras. Estos resultados evidencian que más de dos tercios de las empresas no realizaron ni intentaron realizar innovaciones durante el período evaluado.

Figura 6. Distribución de las empresas industriales por tipología definida en función de resultados de innovación. Total nacional. 2019 y 2020p



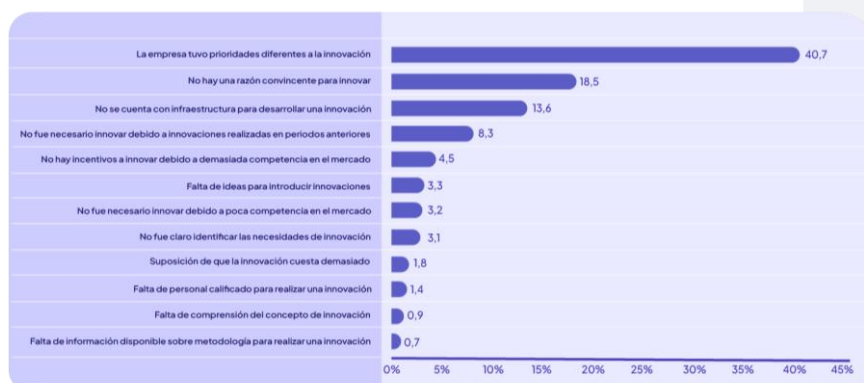
Fuente: DANE, EDIT.

p: Cifras preliminares.

Nota 1: Por aproximación decimal, la suma de los parciales podría diferir del 100,0%. Nota 2: la base de cálculo es el total de empresas industriales investigadas (6.799).

Además, como se muestra en la Figura 7, de 4.628 empresas que no realizaron ni intentaron realizar innovaciones durante el período, el 40,7% indicó que tenía prioridades diferentes a la innovación, el 18,5% no encontró una razón convincente para innovar, y el 13,6% señaló no contar con la infraestructura necesaria para hacerlo. Estos resultados reflejan una falta de interés estratégico por parte de una proporción significativa de empresas del sector manufacturero frente a los procesos de innovación.

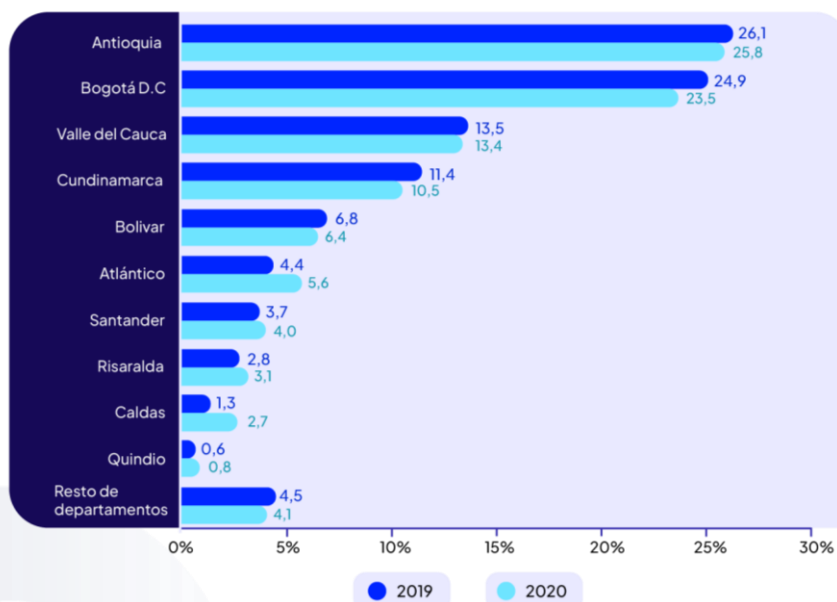
Figura 7. Distribución de las empresas que no introdujeron innovaciones, ni tuvieron proyectos en marcha o abandonados ni la intención de innovar, según principal razón para no hacerlo. Total nacional. 2019 y 2020p



Fuente: DANE, EDIT. p: Cifras preliminares. Nota: La base de cálculo es el total de empresas que no tuvieron innovaciones, ni proyectos en marcha o abandonados, ni la intención de innovar (4.628).

Asimismo, en el año 2020 Bogotá concentró únicamente el 23,5% del personal ocupado en actividades científicas, tecnológicas y de innovación (ACTI) en el sector manufactura, ubicándose por debajo de Antioquia, que lideró con el 25,8%, y apenas por encima del Valle del Cauca, con el 13,4% como se muestra en la Figura 8.

Figura 8. Distribución del personal ocupado que participó en la realización de ACTI según principales departamentos en donde se ejecutaron estas actividades. Total nacional. 2019 y 2020p



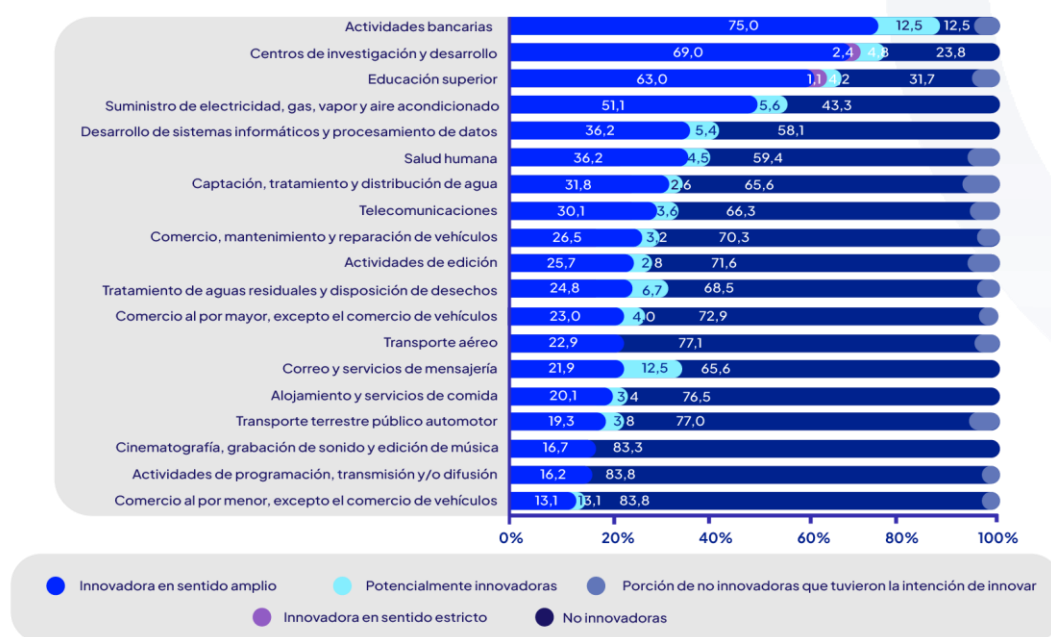
Fuente: DANE, EDIT. p: Cifras preliminares. Nota: Para la elaboración de este gráfico se tomaron los 10 departamentos con mayor participación de personal en ACTI en 2018.

- Sector servicios y comercio

En los sectores de servicios y comercio, la situación es similar: la mayoría de las empresas no realizan actividades de innovación y la intención de innovar es prácticamente inexistente. Esto limita la capacidad de estos sectores para adaptarse a los cambios tecnológicos y responder a las demandas del mercado

En varios subsectores con alta presencia en Bogotá, como comercio al por menor, programación y difusión, cinematografía, transporte terrestre y alojamiento, más del 70% de las empresas no realizan actividades de innovación. Además, entre las empresas no innovadoras, la intención de innovar es mínima: solo el 1,1% en comercio al por menor, el 2,8% en edición y el 4,0% en comercio al por mayor, como se muestra en la Figura 9.

Figura 9: Distribución porcentual de las empresas por tipología definida en función de resultados de innovación, según actividad económica. Total nacional. 2020-2021



Fuente: DANE, Encuesta de Desarrollo e Innovación Tecnológica en los sectores de Servicios y comercio - EDITS.

Por último, se evidencia una fuerte disminución en el personal ocupado en actividades científicas, tecnológicas y de innovación (ACTI) en el sector servicios y comercio. Las actividades de programación, transmisión y difusión registraron una caída del 92,8%, mientras que la cinematografía y edición de música disminuyeron en un 85,4%, y el sector de alojamiento y servicios de comida en un 47,5%. La Figura 1 ilustra esta variación bienal del personal que participó en la realización de ACTI, según actividad económica.

Figura 10. Variación bienal del personal que participó en la realización de ACTI, según actividad económica. Total nacional. Evolución 2020-2021 / 2020-2021



Fuente: DANE, Encuesta de Desarrollo e Innovación Tecnológica en los sectores de Servicios y comercio - EDITS.

4.1.2. Efectos sociales.

En los últimos años, Bogotá ha desarrollado una serie de experiencias de innovación social que buscan articular la ciencia, tecnología e innovación (CTI) con políticas públicas orientadas al bienestar ciudadano. Este enfoque ha facilitado el diseño, pilotaje y escalamiento de soluciones dirigidas a desafíos estructurales de la ciudad, como la desigualdad de género, la inclusión digital, el acceso a servicios y la eficiencia institucional.

Entre estas iniciativas se encuentran el Sistema Distrital de Cuidado (Manzanas del Cuidado), la implementación de un operador de transporte público con criterios de inclusión y género (La Rolita), proyectos de revitalización comunitaria del espacio público y el desarrollo de infraestructura analítica de datos (SaluData y Ágata). A estas acciones se suman la estrategia Red Innova Local, que articula las alcaldías para impulsar procesos de innovación pública y co-creación territorial, y las Salas LabCo, espacios de experimentación y aprendizaje colaborativo en bibliotecas públicas que integran tecnología, saberes locales y participación ciudadana para fortalecer la cultura abierta y la innovación comunitaria.

No obstante, Bogotá carece de un repositorio consolidado y sistematizado de problemáticas urbanas mapeadas, así como de mecanismos regulares de medición que permitan rastrear dichas problemáticas de manera transversal y actualizada. Esta limitación dificulta la trazabilidad de los impactos sociales y la articulación efectiva entre actores institucionales, comunitarios y académicos, generando vacíos en la comprensión integral de las dinámicas territoriales y sociales de la ciudad.

La ausencia de información consolidada no solo impide evaluar con precisión los avances o retrocesos en materia social, sino que también debilita la capacidad de orientar la acción pública. Cuando los problemas no están claramente identificados y medidos, resulta complejo determinar hacia dónde dirigir los esfuerzos, qué actores deben involucrarse y qué soluciones son pertinentes. En este contexto, los impactos sociales detallados a continuación se presentan de forma descriptiva y con un alcance general, basándose en la información disponible en documentos públicos y en la documentación de experiencias institucionales.

Reconocimiento y redistribución del trabajo de cuidado

Uno de los avances más significativos en innovación social en Bogotá es el Sistema Distrital de Cuidado, conocido como las Manzanas del Cuidado. El Programa Manzanas del Cuidado es una estrategia pionera del Sistema Distrital de Cuidado de Bogotá, diseñada para redistribuir el trabajo de cuidado no remunerado, reconocerlo como un aporte social y económico, y garantizar derechos a quienes lo ejercen, especialmente mujeres. Fue implementado por la Secretaría Distrital de la Mujer y la Alcaldía Mayor de Bogotá desde 2020, y se ha consolidado como un modelo territorial de innovación social con enfoque de género.

Las Manzanas del Cuidado son zonas geográficas delimitadas en Bogotá en las que se concentran servicios gratuitos orientados a garantizar derechos, reducir desigualdades y promover el bienestar integral de la población. Los servicios están dirigidos principalmente a tres grupos poblacionales. En primer lugar, a las mujeres cuidadoras, quienes acceden a espacios de formación, respiro, empleabilidad, salud física y salud mental. En segundo lugar, a las personas que requieren cuidado, incluyendo niños, personas mayores y personas con discapacidad, quienes reciben atención integral en entornos seguros y adaptados. Finalmente, la comunidad en general puede participar en actividades culturales, recreativas y educativas que fortalecen el tejido social y promueven la inclusión.

Cada Manzana del Cuidado articula equipamientos existentes como jardines infantiles, centros de salud, bibliotecas, parques, unidades móviles y espacios comunitarios, bajo un enfoque de proximidad territorial. Esta articulación permite que los servicios estén disponibles en un radio caminable de 15 a 20 minutos, facilitando el acceso y reduciendo la carga de desplazamiento para las cuidadoras, según lo explica el portal oficial de la Alcaldía de Bogotá (2024).

Los objetivos principales del programa incluyen: redistribuir el trabajo de cuidado entre el Estado, el mercado, las familias y la comunidad; reconocer el aporte de las mujeres cuidadoras al desarrollo social y económico; reducir la pobreza de tiempo que afecta a quienes cuidan sin remuneración; y promover la autonomía económica y el bienestar integral de las mujeres, de acuerdo con lo planteado por la Alcaldía Mayor de Bogotá en 2024.

Entre 2020 y 2025, el programa ha beneficiado a más de 1,2 millones de personas, en su mayoría mujeres, como lo señala la Alcaldía Mayor de Bogotá (2024). Además, se han desplegado 21

Manzanas del Cuidado activas en distintas localidades de la ciudad, según datos publicados en el sitio web oficial de Bogotá (2024).

Su impacto ha sido reconocido internacionalmente por entidades como ONU Mujeres y el Banco Interamericano de Desarrollo, que en 2023 destacan este modelo como replicable en América Latina por su capacidad de transformar la política social urbana desde una perspectiva de género, cuidado y equidad.

En términos de innovación social, este programa representa una transformación estructural en la forma en que las ciudades reconocen, valoran y redistribuyen el cuidado, integrando enfoques de género, territorialidad y participación ciudadana. Su implementación ha permitido articular servicios existentes bajo un enfoque de proximidad, generando sinergias entre jardines infantiles, centros de salud, bibliotecas, parques y unidades móviles, todo ello orientado a garantizar derechos y cerrar brechas históricas.

Movilidad pública con enfoque de equidad

La Rolita es considerada una estrategia de innovación social en Bogotá por su capacidad de transformar estructuralmente el modelo de transporte público desde una perspectiva de equidad, sostenibilidad y participación ciudadana. Esta iniciativa, creada en 2021 como operador público del Sistema Integrado de Transporte de Bogotá (SITP), rompe con el esquema tradicional de concesión privada y permite que el Distrito recupere capacidad operativa, defina rutas sociales y garantice condiciones laborales dignas, según lo señala el portal oficial de la Alcaldía de Bogotá (2025).

El enfoque de género constituye un elemento central de La Rolita. Más del 50% de su personal de conducción está compuesto por mujeres, muchas de ellas con antecedentes laborales en el sector informal. La estrategia incorpora la provisión de formación técnica, acceso a la empleabilidad formal y fomento de la autonomía económica. Esta dimensión de inclusión laboral ha sido referenciada por organismos internacionales como ONU Mujeres y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

En términos de sostenibilidad ambiental, La Rolita opera con una flota compuesta por 195 buses eléctricos, lo que contribuye a la reducción de emisiones contaminantes y al cumplimiento de las metas climáticas del Distrito. Esta apuesta por la transición energética posiciona a Bogotá como referente regional en movilidad urbana sostenible, de acuerdo con información publicada por Bogotá.gov.co (2025).

Además, el impacto territorial de La Rolita es significativo. El servicio se concentra en localidades del sur de la ciudad como Ciudad Bolívar, Tunjuelito y San Cristóbal, donde históricamente ha habido menor cobertura de transporte público. Esto mejora la accesibilidad, reduce los tiempos de desplazamiento y fortalece la presencia institucional en zonas vulnerables, contribuyendo a la equidad territorial.

Por su capacidad de integrar inclusión social, sostenibilidad y gestión pública, La Rolita ha sido reconocida por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y C40 Cities como un modelo replicable en América Latina. Esta articulación de dimensiones sociales, ambientales y de gobernanza convierte a La Rolita en una experiencia significativa de innovación social urbana.

Revitalización comunitaria y corresponsabilidad en el espacio público

En Bogotá, la innovación social abierta se ha consolidado como una herramienta estratégica para la transformación del espacio público a partir de procesos de participación ciudadana. Un ejemplo representativo de esta apuesta es el proyecto #DiseñoAlBarrio, liderado por el Laboratorio de Innovación de la Defensoría del Espacio Público (DADEP), el cual promueve la recuperación de entornos urbanos deteriorados mediante metodologías colaborativas que integran activamente a la comunidad. La iniciativa articula saberes locales, institucionales y técnicos, generando soluciones contextualizadas que fortalecen la apropiación territorial y la corresponsabilidad en el cuidado del espacio público.

Durante el año 2023, el proyecto logró revitalizar más de 9.000 m² del parque El Arado, ubicado en el barrio Paraíso de Ciudad Bolívar. El proceso comenzó con la fase denominada “Soñar para Innovar”, en la que los habitantes identificaron problemáticas como la mala disposición de residuos, la falta de iluminación y el uso inadecuado del parque para actividades distintas a la recreación. A partir de estos hallazgos, se desarrollaron sesiones de escucha activa, diseño comunitario e inteligencia colectiva, que permitieron construir soluciones adaptadas al contexto territorial, según lo documentan tanto el portal oficial de Bogotá (2023) como el Departamento Administrativo de la Defensoría del Espacio Público (DADEP, 2023).

La intervención contó con la participación de actores como la Sociedad Colombiana de Arquitectos, el Laboratorio de Innovación Pública de Bogotá (iBO), la Junta de Acción Comunal del Paraíso, el IED Paraíso Mirador, la Alcaldía Local de Ciudad Bolívar y el Grupo Éxito – Carulla. Esta articulación intersectorial permitió recuperar el parque como espacio de encuentro, recreación y apropiación comunitaria, fortaleciendo los vínculos entre ciudadanía e institucionalidad.

El DADEP ha destacado que este tipo de proyectos no solo mejoran la infraestructura urbana, sino que también promueven la corresponsabilidad en el cuidado del espacio público, generando procesos de gobernanza local y apropiación colectiva. En ese sentido, #DiseñoAlBarrio representa una experiencia significativa de innovación social que puede ser replicada en otras zonas de la ciudad, especialmente aquellas con déficit de equipamientos y baja inversión histórica.

Optimización y democratización del uso de datos públicos

Bogotá ha establecido una infraestructura de datos orientada a la toma de decisiones públicas informadas, lo que incide en el diseño, la focalización y la evaluación de las políticas sociales. El impulso a la analítica avanzada y la interoperabilidad institucional se configura como una

estrategia de innovación social al integrar tecnología, participación y equidad en la gestión pública.

Un componente fundamental es el observatorio SaluData, gestionado por la Secretaría Distrital de Salud. Esta plataforma consolida más de 100 indicadores de salud pública, clasificados por curso de vida, determinantes sociales, enfermedades (transmisibles y no transmisibles), salud mental y salud ambiental. SaluData facilita la visualización de datos desagregados por localidad y grupo poblacional, lo cual apoya el monitoreo territorial y la formulación de políticas focalizadas. Además, proporciona acceso a tableros interactivos, boletines epidemiológicos y estudios especializados para la ciudadanía, la academia y las instituciones, según lo reporta SaluData (2023).

Complementariamente, la ciudad opera la Agencia Analítica de Datos Ágata, una entidad pública especializada en inteligencia artificial, analítica predictiva y automatización de procesos. De acuerdo con la Agencia Ágata (2023), se han desarrollado algoritmos destinados a abordar problemáticas sociales en ámbitos como el desempleo, la movilidad y la educación. Por ejemplo, su plataforma Bogotá Trabaja Te Conecta emplea modelos de emparejamiento laboral con una precisión reportada superior al 76%. Asimismo, sus modelos predictivos en salud combinan más de 15 fuentes de datos para prevenir riesgos de mortalidad materna y neonatal.

Estas herramientas optimizan la asignación de recursos, incrementan la precisión en la focalización de intervenciones sociales y permiten una evaluación de impacto más rigurosa, fortaleciendo la capacidad institucional del Distrito y promoviendo la equidad territorial. En este contexto, tanto SaluData como Ágata representan estrategias de innovación social que combinan tecnología con un enfoque de derechos, participación ciudadana y transformación estructural de la gestión pública.

Innovación comunitaria y co-creación en espacios bibliotecarios

Las Salas LabCo, impulsadas por BiblioRed, son escenarios de innovación que promueven la experimentación, la creatividad y el aprendizaje colaborativo dentro de las bibliotecas públicas. Estos laboratorios ciudadanos integran saberes locales, tecnología y participación comunitaria, fomentando procesos de co-creación que responden a las necesidades del territorio y fortalecen la cultura abierta.

En coherencia con este propósito, las Salas LabCo han consolidado una red de espacios equipados con herramientas como impresoras 3D, kits de robótica y estaciones de prototipado, que permiten a los ciudadanos desarrollar proyectos en áreas como ciencia, arte y tecnología. La metodología se basa en principios de “hazlo tú mismo y hazlo con otros”, promoviendo la experimentación y el error como parte del aprendizaje. Según BiblioRed (2025) y la Secretaría de Cultura (2025), estas iniciativas han facilitado la creación de prototipos comunitarios, talleres de innovación y retos creativos que fortalecen la participación y la apropiación de los espacios públicos culturales.

Este modelo se complementa con la articulación de actores institucionales, colectivos ciudadanos y organizaciones locales, lo que ha permitido consolidar una gobernanza colaborativa en torno al conocimiento y la innovación. Dicho enfoque no solo democratiza el acceso a tecnologías y saberes, sino que también impulsa la corresponsabilidad en la construcción de soluciones para los desafíos urbanos y sociales. En ese sentido, las Salas LabCo representan una experiencia significativa de innovación comunitaria que puede ser replicada en otros entornos, especialmente aquellos con baja oferta cultural y tecnológica.

Innovación pública y colaboración territorial en Bogotá

La Red Innova Local, liderada por el Laboratorio de Innovación GOLAB de la Secretaría Distrital de Gobierno, constituye una estrategia para fortalecer la innovación pública desde las dinámicas locales. Su propósito es articular las 20 alcaldías de Bogotá en torno a proyectos colaborativos que mejoren la calidad de vida, integrando creatividad, tecnología y participación ciudadana para enfrentar retos sociales.

En consonancia con este propósito, la Red Innova Local ha consolidado Unidades de Innovación en cada alcaldía, que impulsan iniciativas como laboratorios cívicos, hackatones distritales y programas de alfabetización digital. Estas acciones promueven la co-creación y la corresponsabilidad en la búsqueda de soluciones, abordando problemáticas como discriminación, ciberacoso y violencia intrafamiliar. De acuerdo con la Secretaría Distrital de Gobierno (2025) y GOLAB (2025), estas dinámicas han favorecido la generación de proyectos transformadores que fortalecen la relación entre gobierno y ciudadanía.

Asimismo, se articula con actores institucionales, colectivos comunitarios y organizaciones locales, lo que permite consolidar una gobernanza colaborativa en torno a la innovación. Este enfoque amplía las oportunidades de acceso a herramientas tecnológicas y conocimientos, fomentando la participación de la comunidad en la creación de soluciones sostenibles para los retos del desarrollo local. En este sentido, la Red Innova Local se consolida como un referente en innovación pública, con un modelo que puede adaptarse a otros territorios para potenciar la transformación social.

4.2. Condiciones sistémicas del sector CTel en Bogotá y el ecosistema científico distrital

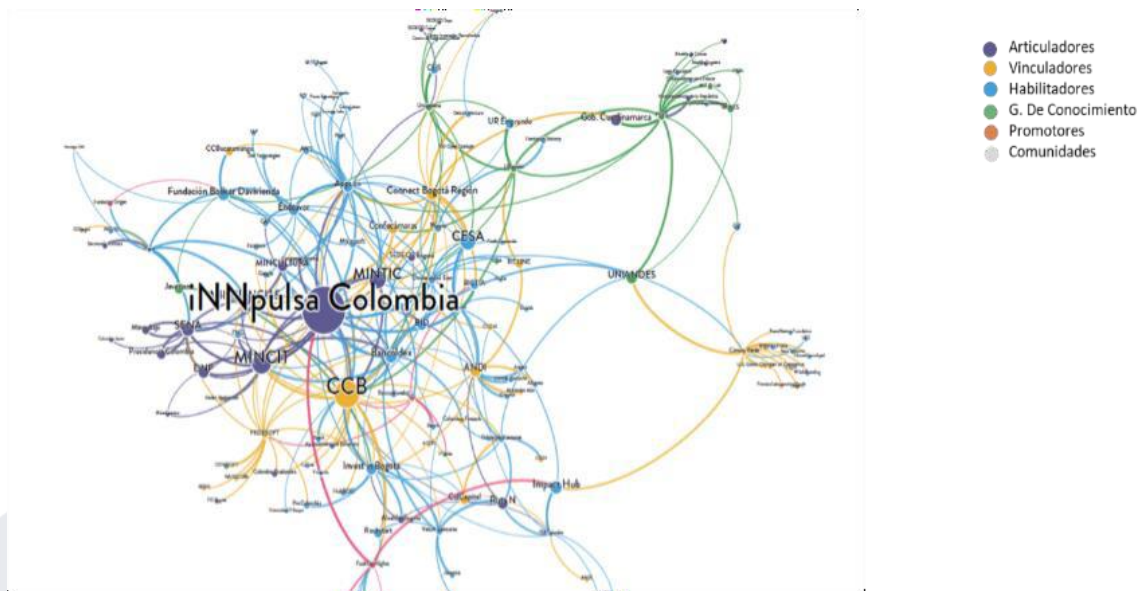
El desempeño fragmentado del sistema de CTel en Bogotá no responde a la falta de capacidades, sino a un conjunto de condiciones estructurales que limitan la integración de los esfuerzos científicos, institucionales y productivos. Tras identificar los efectos macro de esta problemática (productividad estancada, baja transferencia tecnológica y débil impacto social de la investigación), el análisis se orienta ahora a comprender las causas que explican dicha desarticulación. Estas causas no son coyunturales, sino sistémicas en la medida en que: se encuentran en la forma en que se gobierna, se financia, se organiza y se incentiva la investigación y la innovación en el distrito.

4.2.1. Articulación del ecosistema CTel en Bogotá.

Atenea, en colaboración con la Fundación CEIBA y la iniciativa internacional *Global Ecosystem Dynamics Initiative* (GED) realizó un estudio de referencia para caracterizar y medir las dinámicas de colaboración del ecosistema de CTel de Bogotá, aportando evidencia empírica y metodológica al programa Bogotá Científica. Su metodología combina herramientas de análisis de redes complejas (*Complex Network Analysis*) y un modelo conceptual denominado TE-SER (*Typologies, Enablers, Supporters, Environments, Relationships*), desarrollado por Tedesco y Serrano en el MIT D-Lab (2019). Este modelo amplía el enfoque de la cuádruple hélice (Gobierno, Empresa, Academia y Sociedad), clasificando a los actores del ecosistema según su rol funcional (articuladores, habilitadores, vinculadores, generadores de conocimiento, promotores y comunidades) y su valor social y económico dentro del sistema.

El análisis se sintetiza en un índice de colaboración entre los actores que para Bogotá revela una dinámica sectorizada, con interacciones de alcance y duración limitada. Esta situación ha generado una atomización de esfuerzos, capacidades y recursos. Se identificaron 332 colaboraciones entre 146 actores del ecosistema, lo que arrojó un índice de colaboración de 6,1. Este resultado evidencia una baja participación de los actores distritales en las dinámicas colaborativas. Asimismo, se observa que las universidades tienden a ubicarse en la periferia del sistema, con vínculos específicos en sectores puntuales.

Figura 11. Índice de colaboración del ecosistema de Bogotá

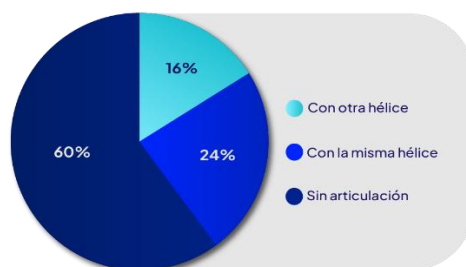


Fuente: Tedesco, M. S., Ramos, F. & Sánchez V. (2021). Plan Estratégico de Ecosistemas de Emprendimiento Basado en Innovación de Alianza del Pacífico. Washington, D.C.: BID & GED.

Esta falta de articulación entre los actores del ecosistema se refleja también en la ejecución de proyectos en la ciudad. En 2022, se desarrollaron cerca de 4.000 proyectos de CTel por parte de actores distritales; sin embargo, el 60% de estos se ejecutó sin colaboración alguna, y solo el 16% de los proyectos colaborativos logró vincular actores pertenecientes a diferentes hélices

(academia, sector productivo, gobierno o sociedad civil). Esto indica que la mayoría de las iniciativas se llevan a cabo de forma aislada o con una integración limitada, lo que pone en evidencia la débil cooperación intersectorial dentro del ecosistema de CTel en el Distrito.

Figura 12. Índice de colaboración del ecosistema de Bogotá



Fuente: Atenea – Hema (2023).

En línea con estudios realizados por el MIT D-Lab, la baja articulación observada en el ecosistema de CTel de Bogotá refleja una estructura poco madura, con escasa colaboración entre actores clave y una débil presencia de “centros gravitacionales¹⁷” que estabilicen el sistema (Tedesco, 2022). Superar esta fragmentación requiere ir más allá del enfoque sectorial de la cuádruple hélice, reconociendo los roles funcionales que cada actor puede desempeñar y fomentando relaciones colaborativas que aumenten la eficiencia, resiliencia y capacidad de impacto del ecosistema (Tedesco & Serrano, 2019). La evidencia muestra que los ecosistemas con mayor colaboración entre líderes presentan menor propensión al colapso y mayor robustez estructural, lo que refuerza la necesidad de diseñar estrategias que promuevan la cooperación interinstitucional como eje del desarrollo territorial (Tedesco, 2022).

En este contexto, fortalecer la CTel en Bogotá requiere no solo una articulación efectiva entre los grupos de investigación, sino también la promoción de la colaboración entre el sector educativo y el productivo. Esto implica establecer canales eficientes de interacción y comunicación, fomentar el intercambio de conocimiento y recursos, y alinear capacidades, prioridades y acciones hacia objetivos comunes que generen un mayor impacto.

4.2.2. Financiación del ecosistema CTel en Bogotá y la Nación.

Bogotá, como epicentro académico, científico y tecnológico del país, ha mantenido históricamente una inversión superior al promedio nacional en actividades de Ciencia, Tecnología e Innovación (ACTI). Sin embargo, esta ventaja relativa se ha visto comprometida por

¹⁷ Los centros gravitacionales son actores clave dentro de un ecosistema que, por su alta capacidad de conexión y colaboración, contribuyen a mantener la cohesión y estabilidad del sistema. Se caracterizan por tener múltiples vínculos con otros actores, ser reconocidos como referentes por sus pares y facilitar el flujo de conocimiento y recursos. Su presencia distribuye el liderazgo, reduce la dependencia de nodos únicos y fortalece la resiliencia del ecosistema frente a cambios o crisis (Tedesco, 2022; Tedesco & Serrano, 2019).

una tendencia decreciente en la inversión en Investigación y Desarrollo (I+D), así como por limitaciones estructurales en la gestión de recursos provenientes del Sistema General de Regalías (SGR). A pesar de contar con instituciones sólidas y una alta concentración de talento, la ciudad enfrenta desafíos significativos en la articulación de fuentes de financiación, la trazabilidad de los proyectos y la sostenibilidad del ecosistema de CTI.

Las inversiones destinadas al fortalecimiento del sector de Ciencia, Tecnología e Innovación (CTI) en Colombia provienen de diversas fuentes, siendo el sector público el principal motor de financiación. En este contexto, destacan dos mecanismos institucionales clave. Por un lado, el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación), creado en 2019 como evolución del antiguo Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (Colciencias), cumple la función de entidad rectora, liderando la formulación de políticas, la planificación estratégica y la asignación de recursos a nivel nacional. Por otro lado, el Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación (FCTel) del Sistema General de Regalías (SGR), establecido en 2011, constituye una fuente presupuestal específica orientada a financiar proyectos regionales que promuevan la competitividad y el cierre de brechas territoriales. Este fondo opera bajo un esquema autónomo y se gestiona mediante procesos de concertación entre gobiernos territoriales, instituciones de educación superior y el gobierno nacional, lo que garantiza un enfoque participativo y descentralizado.

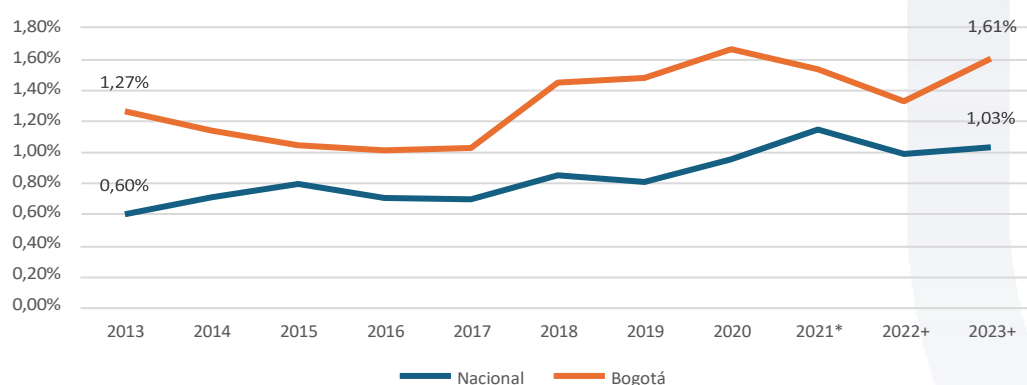
La consolidación del ecosistema de CTI en el país requiere, por tanto, la articulación efectiva de múltiples actores y mecanismos de financiación. En este sentido, Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación no solo formula políticas públicas, sino que también coordina con entidades técnicas como el Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología (OCyT), encargado de la medición y el análisis de datos sectoriales. Esta articulación permite una toma de decisiones basada en evidencia, orientada al fortalecimiento institucional y al desarrollo territorial con enfoque diferencial.

La financiación de las Actividades de Ciencia, Tecnología e Innovación (ACTI) en Colombia se complementa con aportes provenientes de fuentes privadas e internacionales. Según datos del OCyT (2024), en 2023 el 55,22% de los recursos destinados a ACTI fueron de origen público, el 41,68% provinieron del sector privado y el 3,10% correspondieron a cooperación internacional. En el caso específico de la Investigación y Desarrollo (I+D), los recursos privados representaron la mayor proporción (49,58%), seguidos por los públicos (44,34%) y los internacionales (6,08%), lo que evidencia una creciente participación empresarial en esta área estratégica.

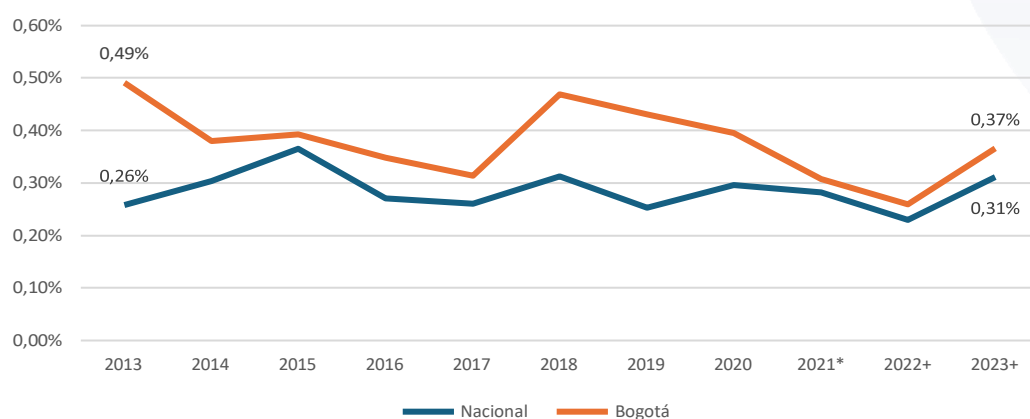
Desde una perspectiva territorial, Bogotá ha mantenido una inversión superior al promedio nacional en ACTI, pasando de aproximadamente el 1,27% del PIB en 2013 a 1,61% en 2023. Sin embargo, la inversión en I+D ha mostrado una tendencia decreciente en la ciudad, al pasar de 0,49% del PIB en 2013 a 0,37% en 2023 (OCyT, 2022). Esta cifra se encuentra significativamente por debajo de la meta nacional del 1% y muy distante de referentes internacionales como Corea del Sur (4,6%), Israel (4,2%) y Japón (3,3%), así como del promedio de los países miembros de la OCDE (2,2%) (OCDE.Stat, 2024).

Gráfico 1. A) Inversión ACTI como proporción del PIB, % (2013-2023); B) Inversión I+D como proporción PIB, % (2013-2023)

A)



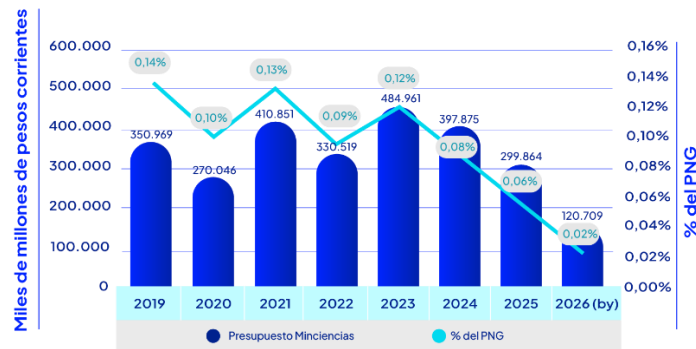
B)



Fuente: OCyT (2023)

Esta situación se agrava por la tendencia decreciente de las inversiones públicas en CTI. La reducción en los fondos de entidades clave como Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación y el FCTel del SGR representa un riesgo significativo para el desarrollo del sector. El presupuesto de Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación ha experimentado una evolución marcada por altibajos entre 2019 y 2026. En 2022 se asignaron 330.519 miles de millones, seguido por un notable incremento en 2023 hasta 484.961 miles de millones, el punto más alto de toda la serie. Sin embargo, en 2024 el presupuesto se reduce a 397.875, y en 2025 cae aún más a 299.864, lo que representa una disminución de más del 38% respecto al año anterior. La proyección para 2026 es especialmente preocupante, con solo 120.709 miles de millones, una reducción de más del 75% respecto a 2023. Esta tendencia descendente podría impactar negativamente la continuidad de proyectos, la formación de talento y el desarrollo tecnológico del país.

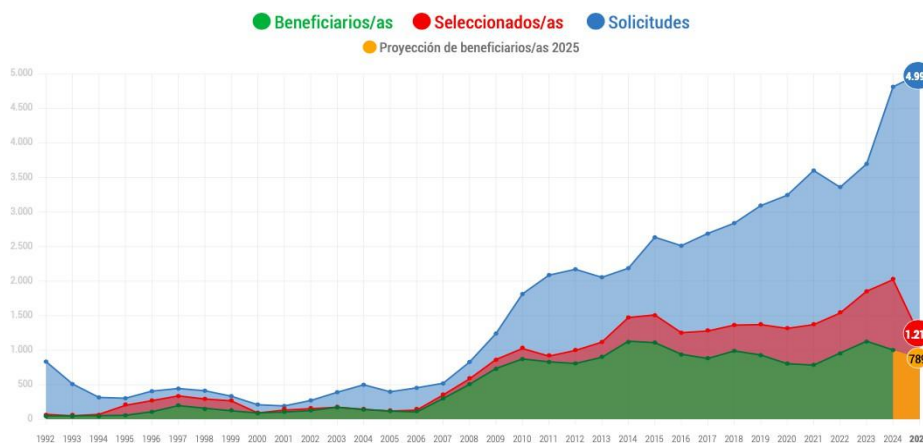
Gráfico 2. Presupuesto total de Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación 2019-2026 en miles de millones a precios corrientes



Fuente: Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, Resolución 001 de 2025 Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, Anteproyecto PGN 2026, Ministerio de Hacienda-presupuesto apropiación inicial

Las fluctuaciones en la financiación de Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación también se reflejan en el número de beneficiarios del programa Colfuturo. La disminución de los recursos provenientes del Presupuesto General de la Nación coincide con la reducción en la cantidad de becarios: de 1128 en 2023 a 1018 en 2024, con una proyección de 789 para 2025.

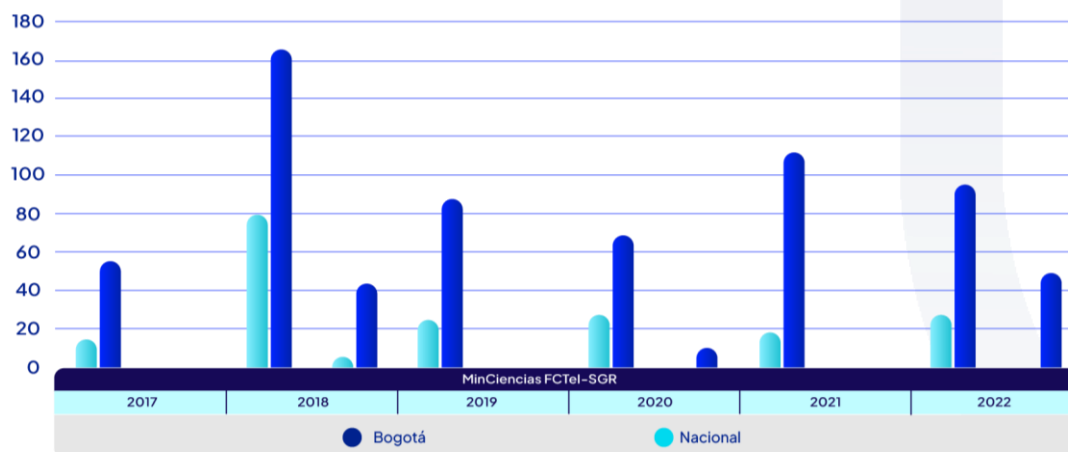
Figura 13. Beneficiarios, seleccionados y solicitudes de Colfuturo 1992-2025



Fuente: Colfuturo(2025)

A nivel regional, las principales fuentes de financiación para CTI han mostrado una tendencia decreciente desde 2018. Aunque Bogotá mantiene una participación relevante en los recursos canalizados por Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, la ciudad ha evidenciado limitaciones estructurales para gestionar y ejecutar recursos provenientes del SGR, lo que ha profundizado los desafíos de sostenibilidad financiera en el ámbito local. Además, se observa una falta de consistencia entre las cifras reportadas por Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación y las asignaciones presupuestales del SGR. Por ejemplo, el presupuesto 2021–2022 indica una asignación cercana a los 36 mil millones de pesos para CTI en Bogotá (Ministerio de Hacienda, 2021), sin que exista trazabilidad clara sobre los proyectos financiados con dichos recursos. Esta disonancia evidencia una dificultad persistente para articular presupuestos, identificar beneficiarios y evaluar el impacto territorial de la inversión en ciencia e innovación.

Figura 14 . Monto financiado en proyectos de I+D+i financiados por Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación / ACTI del SGR



Fuente: Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (2023)

4.2.3. Capacidades del ecosistema CTel en Bogotá.

El fortalecimiento de las capacidades científicas, tecnológicas y de innovación constituye uno de los pilares más determinantes para consolidar un ecosistema de conocimiento dinámico y sostenible en Bogotá. En este sentido, este capítulo examina los principales componentes que configuran la base de capacidades del Distrito, entendidas como el conjunto de recursos humanos, institucionales y organizacionales que posibilitan la producción, aplicación y transferencia del conocimiento. A partir de esta aproximación, el análisis se estructura en tres segmentos que permiten comprender de manera integral la situación actual del capital científico y tecnológico de la ciudad, sus avances, limitaciones y potencialidades.

Formación de alto nivel.

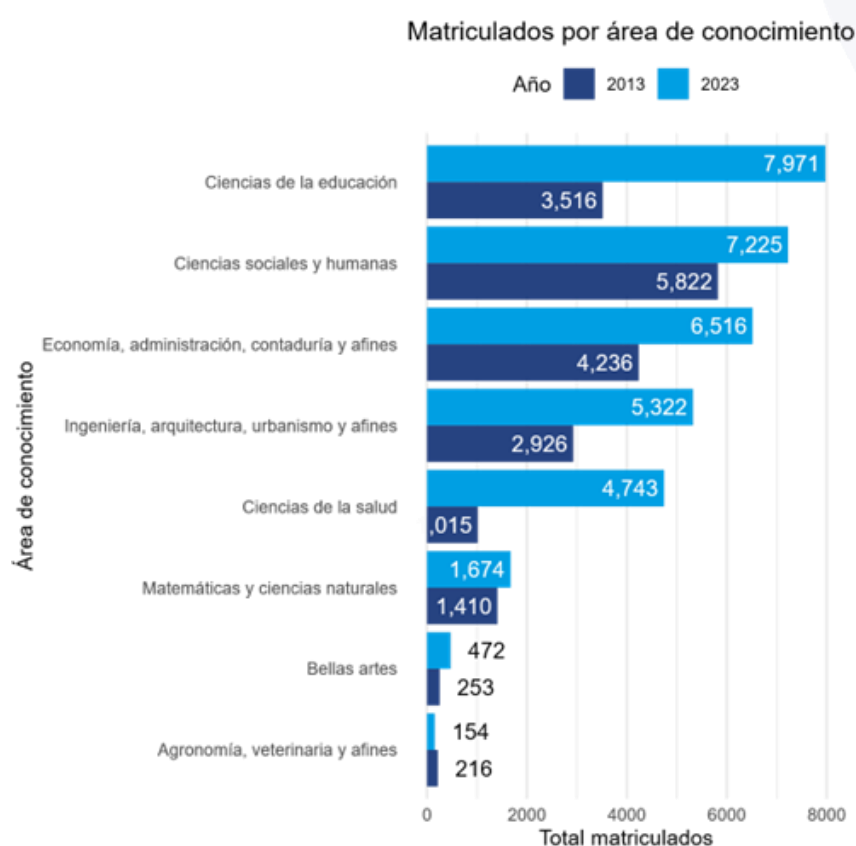
La formación de alto nivel representa un eje fundamental para el fortalecimiento de las capacidades científicas, tecnológicas y sociales de un territorio. En Bogotá presenta dos características relevantes: una alta concentración de matrícula en áreas como Ciencias de la Educación y Ciencias Sociales y Humanas, y una baja inserción de doctores en el sector productivo.

La formación de alto nivel se define como aquella educación académica e investigativa conducente a títulos de posgrado, específicamente maestrías, doctorados y especialidades médico-quirúrgicas. Según la UNESCO (2021), esta formación tiene como propósito “profundizar el conocimiento, fomentar la producción científica y desarrollar capacidades

analíticas y críticas de alto nivel, con impacto en el entorno académico, profesional y social”. En el contexto colombiano, el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, 2025) la considera como aquella orientada a la obtención de títulos de maestría en modalidad de investigación, doctorado y especialidades médico-quirúrgicas, estas últimas con tratamiento equivalente a programas de maestría según la Ley 100 de 1993.

En 2023, Bogotá concentró el 48% de la matrícula total del país, con una distribución principalmente en tres áreas del conocimiento: Ciencias de la educación (23,4%), Ciencias sociales y humanas (21,2%) y Economía, administración, contaduría y afines (19%). Aunque estas áreas agrupan la mayor parte de los estudiantes, destaca el crecimiento sostenido de la matrícula en Ciencias de la salud, cuya tasa promedio anual en la última década fue del 16,7%, superando el 8,5% registrado por Ciencias de la educación como se observa en la figura 15.

Figura 15. Matrícula por área de conocimiento. Bogotá, 2013 y 2023



Fuente: Elaboración Atenea a partir SNIES (2024)

La formación de alto nivel en comparación con otros países es baja. En 2016, Colombia contaba con apenas 12.6 doctores por cada millón de habitantes, cifra inferior al promedio latinoamericano de 48 doctores por millón, y muy por debajo de países como Brasil (92), México (48.6) y Chile (38) (Fedesarrollo, 2022). En contraste, países como Alemania, Suiza y Corea del Sur superan los 25 doctores por cada 100.000 habitantes, lo que refleja una vinculación estructural entre la educación doctoral, el sistema de ciencia y tecnología, y las prioridades de desarrollo nacional (OCDE, 2023).

Por otra parte, la inserción de doctores en el sector productivo sigue siendo baja, lo que constituye una de las causas estructurales de la brecha entre formación de alto nivel y desarrollo en Colombia (DNP, 2021). A pesar de esta limitación, existen evidencias claras sobre los beneficios que genera la vinculación de profesionales con formación doctoral en distintos sectores. Según Núñez et al. (2022), la incorporación de doctores en equipos empresariales contribuye significativamente a la creación de valor agregado, al registro de secretos industriales y a la formulación de patentes. Además, estos profesionales generan impactos positivos en la construcción de capacidades individuales y colectivas, fortalecen el bienestar social, mejoran los programas curriculares y elevan la calidad de la educación superior.

Grupos de investigación.

El sistema Nacional de Ciencia, tecnología e innovación, bajo la dirección de Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, establece un modelo formal para el reconocimiento de grupos de investigación, Desarrollo Tecnológico o de innovación. Este modelo, busca identificar la dinámica, productividad y trayectoria de los grupos, así como generar estadísticas e insumos para la formulación de políticas públicas en materia de CTel.

El Ministerio entiende grupo de investigación como “conjunto de personas que interactúan para investigar y generar productos de conocimiento en uno o varios temas, de acuerdo con un plan de trabajo de corto, mediano o largo plazo (tendiente a la solución de un problema)” Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (2024). Se dividen en varias categorías determinadas por la calidad científica, impacto y la trayectoria de cada grupo¹⁸. A continuación, se presentan las categorías:

- **A1:** Grupos con trayectoria consolidada, producción científica sobresaliente y alto impacto internacional. Generan productos como patentes, artículos indexados y desarrollos innovadores en bases de datos como Scopus, Web of Science y SciELO.
- **A:** Grupos con alta calidad científica y tecnológica, con amplia producción de artículos y proyectos, aunque con menor visibilidad internacional que los A1.
- **B:** Grupos con producción intermedia y buena calidad, en proceso de consolidación y con impacto principalmente nacional.

¹⁸ Para ser reconocido como grupo de investigación se necesita:

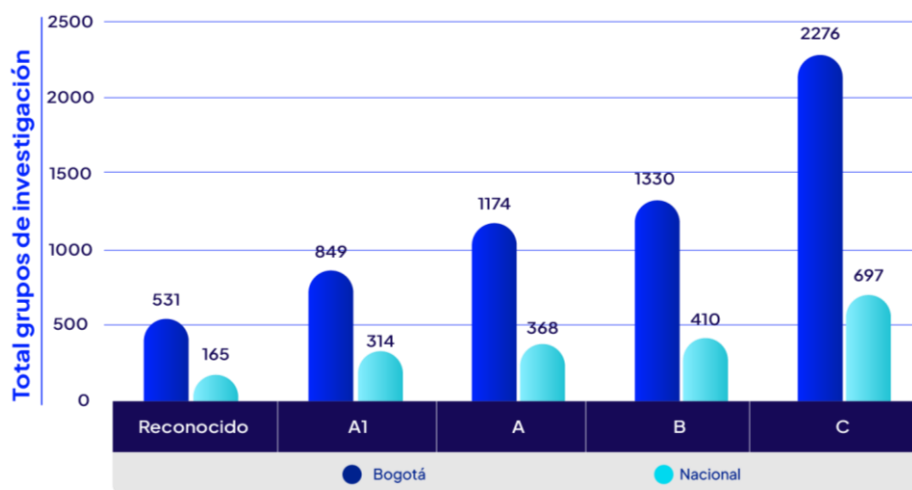
1. Estar registrado en la plataforma GrupLAC del sistema SCienTI.
2. Contar con al menos dos (2) integrantes activos.
3. Tener uno (1) o más años de existencia comprobada.
4. Estar avalado por una institución registrada en InstituLAC.
5. Ejecutar al menos un proyecto de investigación, desarrollo tecnológico o innovación vigente.
6. El líder del grupo debe poseer título de pregrado, maestría o doctorado (obtenido antes del cierre de la convocatoria).
7. Presentar una producción mínima de nuevo conocimiento o innovación equivalente a un producto por año de existencia.
8. Contar con una producción de apropiación social del conocimiento o divulgación pública de la ciencia, también equivalente a un producto por año.

- **C:** Grupos en etapa de fortalecimiento, con trayectoria reciente y enfoque en investigación de carácter local o nacional.
- **Reconocido:** Grupos en formación, con organización básica y registro institucional, pero sin suficiente producción científica para clasificaciones superiores.

A nivel nacional, según Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (2021), Colombia contaba con 6.160 grupos de investigación reconocidos, distribuidos de la siguiente manera: 2.276 en categoría C, 1.330 en B, 1.174 en A, 849 en A1 y 531 reconocidos. Si bien esto evidencia una base científica amplia, solo el 32,8 % de los grupos pertenece a las categorías de alta calidad (A y A1), mientras que más de un tercio permanece en categoría C.

En el caso de Bogotá, el número de grupos reconocidos por el Ministerio pasó de 1.427 en 2014 a 1.954 en 2021, lo que representa el 32 % del total nacional. La distribución por categorías muestra 36 % en C; 21 % en B; 34,9 % en A y A1 (alta calidad) y 8,44 % en Reconocido. Este patrón indica que Bogotá concentra la mayor cantidad de grupos del país, lo que constituye una ventaja estratégica para impulsar políticas que fortalezcan la calidad y la articulación universidad-empresa-Estado, aprovechando esta masa crítica para generar mayor impacto.

Gráfica 3. Resultados reconocimiento y medición de grupos de investigación y desarrollo en Bogotá y Nacional

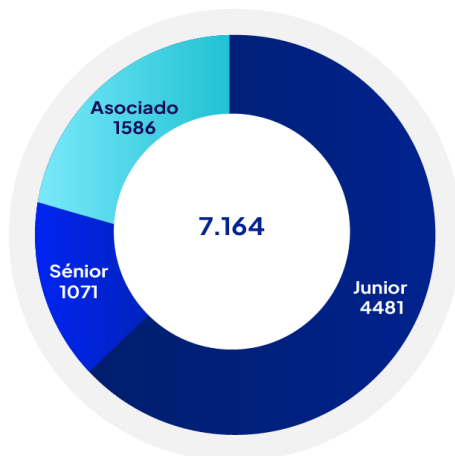


Fuente: Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (2021)

Respecto al capital humano, el número de investigadores reconocidos en Bogotá creció de 2.940 en 2014 a 6.573 en 2021, es decir, el 31,2 % del total nacional. La composición muestra predominio de perfiles en etapas iniciales: 4.481 junior; 1.586 asociados; 1.071 sénior y 26 eméritos. Esto refleja una base científica joven, con potencial de crecimiento, pero que requiere estrategias para consolidar liderazgo y mentoría. En cuanto al nivel de formación, se registran 4.082 con doctorado, 2.475 con maestría, 285 con especialidad médica, 188 con especialización y 132 con pregrado.

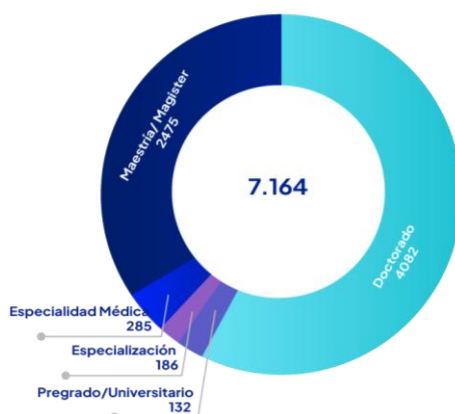
En esto también podemos diferenciar por nivel de finalización de estudios, donde vemos 4082 con doctorado, 2475 con maestrías, 285 con especialidad médica, 188 con especialización y 132 solo con pregrado universitario.

Gráfico 4. Investigadores reconocidos por tipo en Bogotá



Fuente: Elaboración propia con datos de Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (2021)

Gráfico 5. Investigadores reconocidos por nivel de formación en Bogotá



Fuente: Elaboración propia con datos de Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (2021)

En conjunto, estos datos evidencian una estructura en consolidación con alta concentración geográfica, lo que plantea retos para la generación de innovación tecnológica directa. Sin embargo, también abre oportunidades para orientar la política pública hacia el fortalecimiento de la calidad, la diversificación temática y la articulación con el sector productivo, convirtiendo la capacidad investigativa en un verdadero motor de transformación económica y social.

Actores reconocidos CTel

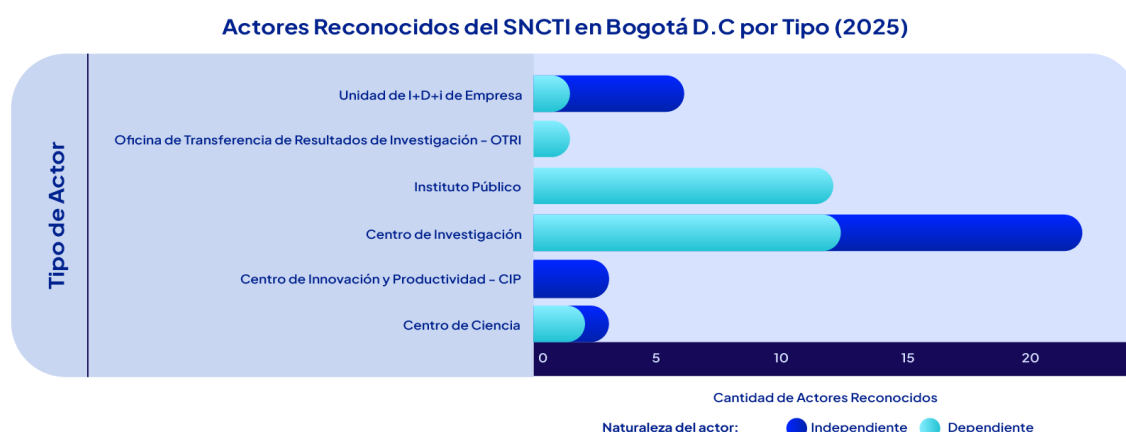
El Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SNCTI) integra un conjunto diverso de actores que generan, transfieren, financian y aplican conocimiento, conformando la base institucional del desarrollo científico, tecnológico y de innovación del país. Según el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación estos actores son esenciales para articular la producción

científica, la innovación y la apropiación social del conocimiento, de manera que la ciencia tenga un impacto directo en el desarrollo económico y social.

A nivel nacional, el SNCTI está conformado por universidades, centros e institutos de investigación, oficinas de transferencia de conocimiento, empresas innovadoras, entidades territoriales, fondos de financiación y espacios de apropiación social de la ciencia. Su reconocimiento por parte de Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación depende del cumplimiento de criterios de calidad, producción científica, transferencia tecnológica y vinculación institucional.

En Bogotá, se concentra cerca del 34 % de los actores reconocidos del SNCTI, reflejando su rol protagónico dentro del ecosistema nacional de ciencia e innovación. De acuerdo con datos oficiales del portal *La Ciencia en Cifras* de Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (2025), el Distrito Capital cuenta con 46 actores reconocidos, distribuidos así: Centros de investigación: 22 (12 dependientes y 10 independientes); Institutos públicos: 12; Centros de innovación y productividad (CIP): 3; Centros de ciencia: 3 (2 dependientes y 1 independiente); Oficinas de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI): 1; Unidades de I+D+i de empresas: 6 (1 dependiente y 5 independientes).

Gráfico 6. Actores reconocidos por tipo en Bogotá



Fuente: elaboración propia con datos de Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (2021)

Estos datos reflejan que Bogotá concentra una proporción significativa de las capacidades institucionales del país, con predominio de centros de investigación e institutos públicos, lo que refuerza su papel como núcleo del conocimiento científico colombiano. Sin embargo, la alta concentración de actores también evidencia un desafío en términos de articulación interinstitucional, transferencia tecnológica y conexión con el sector productivo.

Entre los principales actores nacionales con sede o presencia en Bogotá se encuentran institutos públicos de alto nivel como el Instituto Nacional de Salud, el Instituto Nacional de Cancerología, el Instituto Nacional de Metrología, el Instituto de Evaluación Tecnológica en Salud (IETS), el Instituto Nacional de Medicina Legal, el Servicio Geológico Colombiano, el

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), el Instituto Colombiano de Antropología e Historia (ICANH) y el Instituto Caro y Cuervo, entre otros. Estos organismos son pilares de la investigación aplicada y la generación de conocimiento científico especializado.

Junto con ellos, los centros de innovación y productividad, las unidades de I+D+i empresarial y las oficinas de transferencia (OTRI) fortalecen la relación entre la ciencia y el sector productivo, impulsando procesos de desarrollo tecnológico y la comercialización del conocimiento. Asimismo, los centros de ciencia como museos, planetarios, jardines botánicos o laboratorios cumplen un papel clave en la apropiación social del conocimiento y la cultura científica en la ciudad.

En su conjunto, estos actores conforman una red robusta que posiciona a Bogotá como el principal nodo de ciencia, tecnología e innovación del país. No obstante, la centralización de capacidades también representa un reto: persisten brechas de articulación entre el ámbito académico, productivo y gubernamental, lo que limita la conversión del conocimiento en innovación efectiva. Superar este desafío es esencial para consolidar una gobernanza de CTel más equitativa, colaborativa y orientada al impacto territorial.

4.2.4. Política pública, regulación e incentivos del ecosistema CTel.

El desempeño de los sistemas de CTel depende en gran medida de la orientación estratégica de la política pública y de los incentivos institucionales que guían las decisiones de los actores. En Colombia y en Bogotá, durante la última década, se han consolidado avances normativos y de gobernanza, como la expedición del CONPES 4069 de 2022, la Política Distrital de CT+I 2019-2038, la creación de ATENEA mediante el Decreto Distrital 273 de 2020, y la reglamentación de la Compra Pública para la Innovación (Ley 2069 de 2020 y Decreto 442 de 2022). Estos instrumentos establecen metas claras para fortalecer las capacidades de investigación y promover la transferencia tecnológica.

Marco nacional de política e incentivos

No obstante, pese a la existencia de un marco normativo robusto, la coherencia entre objetivos, instrumentos e incentivos sigue siendo limitada. A nivel nacional, el CONPES 4069 (2022-2031) define como propósito general “aumentar la contribución de la CeTI al desarrollo económico, social y ambiental del país”, con seis ejes estratégicos: gobernanza, talento, infraestructura, investigación, apropiación social y transferencia tecnológica. A nivel territorial, la Política Distrital de CT+I 2019-2038 (CONPES D.C. 04) plantea fortalecer el ecosistema regional, articular actores y fomentar la investigación aplicada en sectores estratégicos de la ciudad. Ambos instrumentos reconocen que el conocimiento debe convertirse en motor de desarrollo y productividad.

En términos de gobernanza, además del contenido de los instrumentos, persiste una tensión histórica asociada a la coexistencia de dos arquitecturas nacionales que no siempre operan de

manera integrada. Por un lado, el Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación organiza la política de conocimiento, capacidades e investigación. Por otro, el Sistema Nacional de Competitividad e Innovación estructura agendas orientadas a productividad, sofisticación y desempeño empresarial. Esta doble institucionalidad ha sido objeto de varios intentos de ajuste y reorganización, pero en la práctica tiende a reproducir solapamientos de funciones, dispersión de prioridades y señales mixtas para universidades, entidades públicas y empresas sobre qué se valora y cómo se mide el avance. A este panorama se suma la incidencia de actores como el Consejo Privado de Competitividad, que contribuyen a orientar la discusión pública sobre productividad e innovación, reforzando la necesidad de coherencia entre agendas, incentivos y métricas.

Sin embargo, en la implementación, los instrumentos operativos y las métricas de desempeño no siempre responden a esas metas de impacto. Las convocatorias nacionales y distritales tienden a medir resultados a partir de productos académicos, mientras los indicadores asociados a transferencia tecnológica, patentes o innovación empresarial siguen siendo secundarios o de difícil trazabilidad.

Uno de los elementos normativos más influyentes en esta desalineación es el Decreto 1279 de 2002, que regula el régimen salarial y prestacional de los docentes de las universidades estatales. El decreto fortaleció la cultura investigativa universitaria, pero generó un sesgo en el que la rentabilidad profesional del investigador depende más del número de publicaciones que de la calidad o aplicabilidad de sus resultados. Estudios críticos (Universidad de Antioquia, 2018; Universidad del Valle, 2020) evidencian que el Decreto 1279 consolidó una cultura orientada a indicadores bibliométricos.

El decreto reconoce de forma limitada actividades como patentes, prototipos o consultoría tecnológica y excluye de sus beneficios a docentes ocasionales o catedráticos, quienes suelen participar en proyectos aplicados. Así, los incentivos académicos privilegian la visibilidad científica sobre la utilidad económica o social de la investigación. Aunque se permite ajustar los criterios internos, pocas universidades han reformado sus esquemas y las propuestas de actualización normativa para valorar innovación, emprendimiento o impacto territorial siguen pendientes de implementación.

Por otro lado, y como se mostró en secciones anteriores, los mecanismos de financiamiento, como el Fondo de CTI del Sistema General de Regalías y los programas de Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, han incrementado los recursos destinados a investigación, pero persisten fragmentación institucional y baja articulación intergubernamental. Con el Decreto 442 de 2022, que reglamenta la Compra Pública de Innovación (CPI), se buscó incentivar la demanda tecnológica desde el Estado, pero enfrenta barreras técnicas y administrativas, como la falta de capacidades en entidades contratantes, rigidez presupuestal y ausencia de instrumentos de evaluación del riesgo tecnológico.

Marco distrital y coordinación del ecosistema

En el nivel distrital, la creación de ATENEA representó un avance en la coordinación de programas de educación, ciencia y tecnología, pero la falta de integración operativa entre entidades sectoriales y niveles de gobierno limita el impacto de las convocatorias y dificulta la sostenibilidad de los proyectos de I+D+i.

Estas tensiones nacionales tienden a reflejarse en la escala territorial como desafíos de coordinación y alineación de agendas. En ese nivel, instancias como el CODECTI cumplen un papel clave al reunir actores de gobierno, academia, empresas y sociedad civil para orientar prioridades, articular instrumentos y hacer seguimiento a compromisos. Sin embargo, cuando las directrices, los incentivos y los lenguajes de medición no están armonizados entre ciencia e innovación orientada a impacto y competitividad orientada a productividad, la gobernanza territorial enfrenta fricciones adicionales. Esto se traduce en dificultades para ordenar portafolios, coordinar convocatorias y esfuerzos interinstitucionales, y sostener apuestas de mediano plazo que conecten la producción de conocimiento con adopción y escalamiento en sectores estratégicos.

El resultado de este entramado institucional es Bogotá tiene un ecosistema que produce conocimiento de alta calidad académica, pero que no logra traducirse en mejoras significativas en productividad o competitividad. La desconexión entre ciencia y economía responde, en gran medida, a incentivos mal alineados, pues mientras los docentes-investigadores se ven recompensados por publicar, las universidades carecen de incentivos fiscales o financieros para invertir en transferencia tecnológica; las empresas, por su parte, enfrentan altos costos de innovación y poca certeza sobre la protección de la propiedad intelectual. En este contexto, los esfuerzos de política pública terminan reforzando un modelo lineal de producción científica, sin mecanismos efectivos de retroalimentación desde la demanda o el mercado.

4.2.5. Resultados de investigación.

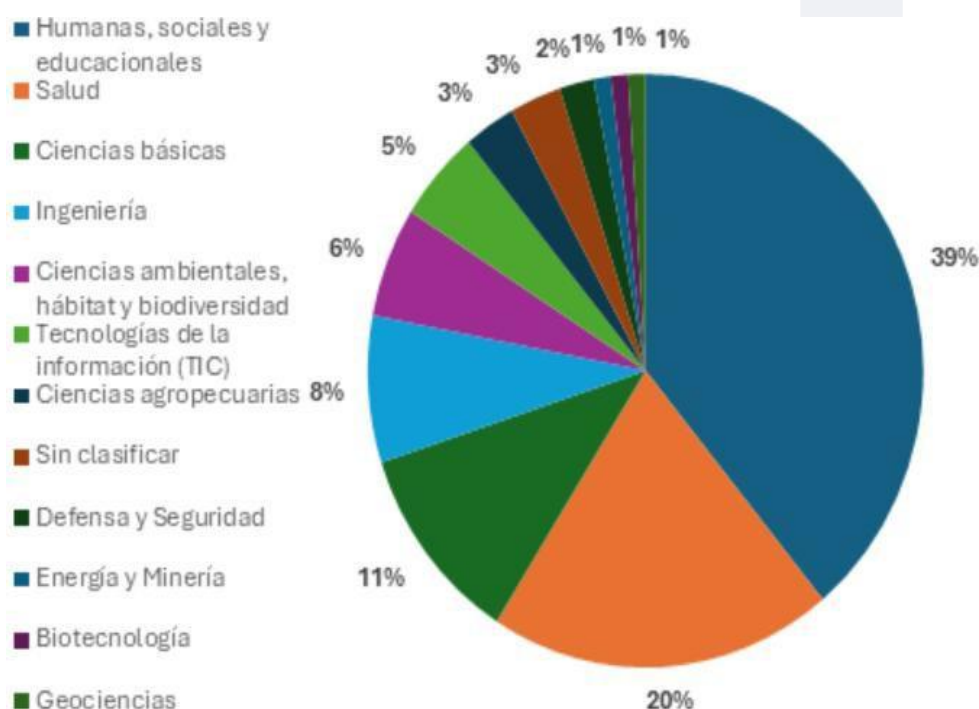
Donde estamos investigando.

En Bogotá, la investigación se desarrolla principalmente en el nivel micro, es decir, desde grupos de investigación individuales ubicados en universidades y centros académicos, que trabajan de forma autónoma en áreas específicas del conocimiento. Estos grupos se concentran mayoritariamente en ciencias humanas, salud y ciencias básicas, y sus productos están asociados a la difusión académica, destacándose los artículos científicos, tesis de pregrado y eventos científicos, con una baja articulación hacia el sector productivo.

Siguiendo la clasificación del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación por áreas según el Programa Nacional de CTel, se observa en la Gráfica 7 que el 39% de grupos de investigación se concentran en ciencias humanas, sociales y educacionales, seguido de investigación en salud con 20% y ciencias básicas con 11%. Es de resaltar que las áreas menos investigadas son biotecnología, geociencias y energía y minería. En este sentido, Chaparro (2017) menciona que Bogotá tiene la necesidad de establecer prioridades relacionadas con ciencia, tecnología e innovación, puesto que, a pesar de los esfuerzos realizados, muchas propuestas que distan de

las áreas donde suelen hacerse investigación, no logran consolidarse y las tendencias se mantienen.

Gráfica 7. Clasificación de grupos de investigación según el Programa Nacional de CTel

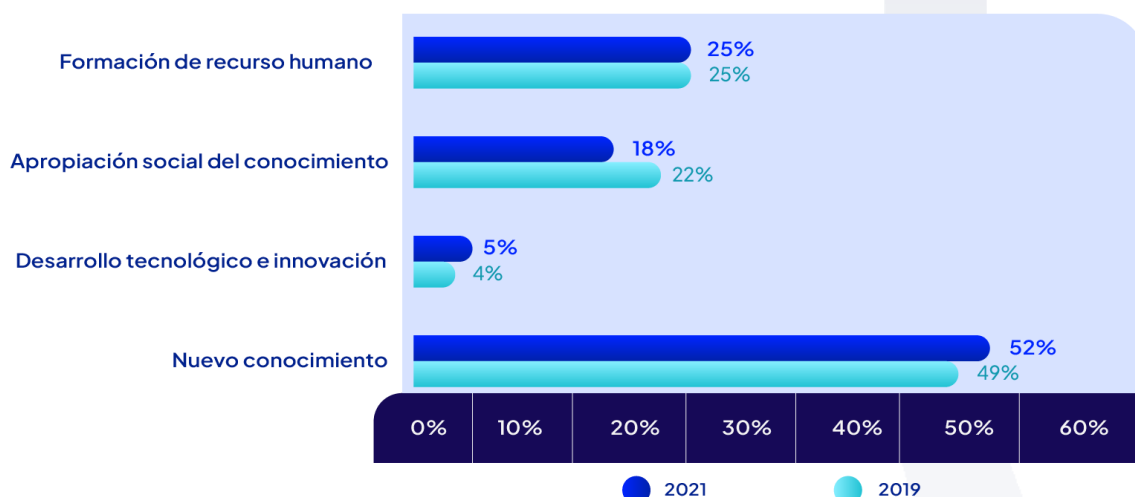


Fuente: Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, 2021

Es de resaltar que, la mayoría de estos grupos de investigación son apoyados por entidades privadas, de tal manera que 189 cuentan con financiación privada y 47 pública, lo cual contrasta con los montos invertidos desde el sector público que tienden a ser más altos. Esto evidencia la dependencia de la CTel en Bogotá sobre los retornos que pueda obtener el sector privado de las investigaciones, como se mencionó previamente que sucede en general en América Latina.

En cuanto a la producción científica de los grupos de investigación en Bogotá, esta pasó de 129.413 a 307.048 productos, lo que representa un incremento superior al 50%. Sin embargo, este crecimiento vino acompañado de una disminución de 4,2 puntos porcentuales en la participación de la ciudad dentro del total nacional. Según la Gráfica 8, entre 2019 y 2021, los productos orientados a la generación de nuevo conocimiento aumentaron del 49% al 53,7%, mientras que los de apropiación social del conocimiento disminuyeron del 23,5% al 18,7%. Por su parte, los productos de desarrollo tecnológico e innovación, aunque siguen siendo minoritarios, crecieron del 4% al 5%, y la formación de recurso humano se mantuvo estable en un 25%.

Gráfica 8. Tipos de productos científicos



Fuente: Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (2021)

En términos de contenido, según Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación para el 2021 en Bogotá, el nuevo conocimiento se materializó principalmente en artículos de investigación, que representan el 72% del total de productos en esta categoría. En cuanto al desarrollo tecnológico, los principales resultados son prototipos industriales y conceptos técnicos, que constituyen el 32% de los productos asociados. La apropiación social del conocimiento se da mayoritariamente a través de eventos científicos (55%), mientras que la formación de talento humano se concentra en tesis de pregrado, con un 45% del total.

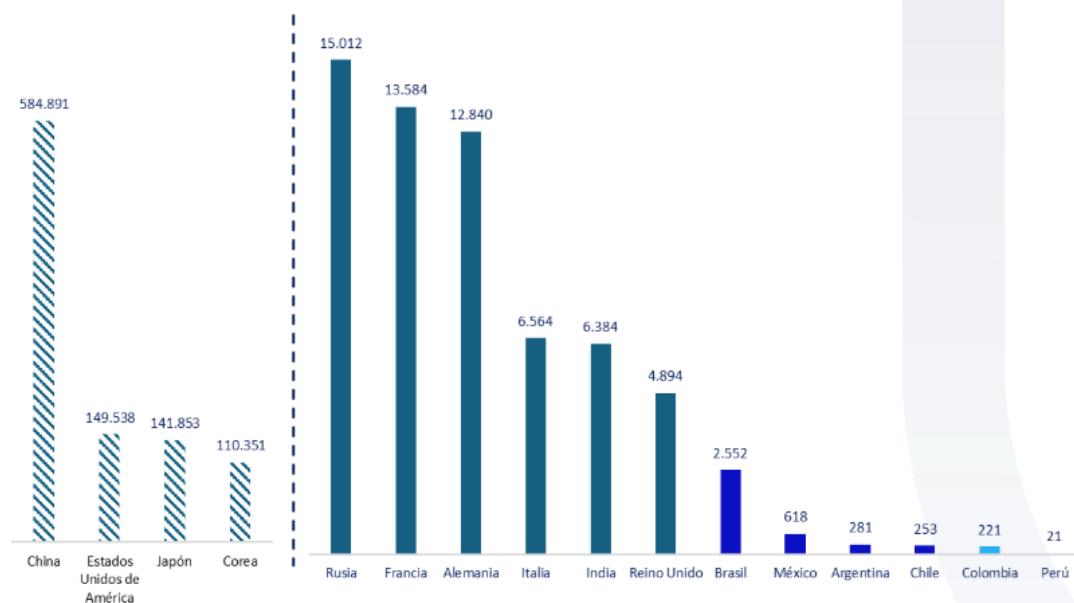
Lo anterior muestra una baja articulación con el sector productivo, ya que la producción se enfoca en resultados académicos, dejando de lado productos con mayor potencial de transferencia como patentes, consultorías o libros de formación. Además, la limitada vinculación de las tesis con proyectos de I+D o investigación-creación reduce las posibilidades de generar sinergias efectivas dentro del ecosistema científico de la ciudad.

Patentes.

Las patentes son un insumo clave para el desarrollo empresarial dentro del sector de Ciencia, Tecnología e Innovación (CTeI), ya que reflejan la capacidad de generar nuevo conocimiento con potencial de aplicación y valor comercial. Sin embargo, en Bogotá persisten varios cuellos de botella que limitan su aprovechamiento efectivo y su impacto en el ecosistema productivo.

En la Figura 16 se evidencia que Colombia ocupa una posición muy baja en el ranking global de patentes otorgadas a residentes en 2021, con apenas 221 patentes, según la OMPI (2023). Esta cifra es mínima frente a países líderes como China (584.891), Estados Unidos (149.538) y Japón (141.853), e incluso frente a economías latinoamericanas como Brasil (2.552) y México (618), lo que refleja una brecha tecnológica profunda que limita la competitividad del país en innovación y transferencia de conocimiento.

Figura 16. Patentes otorgadas a residentes, 2021



Fuente: OMPI (2023)

De ese total nacional, Bogotá concentra la mayoría de las patentes. En el periodo 2015-2023 concentró el 42,5% de las patentes concedidas, muy por encima de Antioquia (17,9%) y Valle del Cauca (8,2%) (SIC, 2023). Esta concentración reafirma el liderazgo de la capital en producción de propiedad intelectual; sin embargo, persisten cuellos de botella como los retrasos en la concesión, la baja participación del sector productivo y la focalización en formatos académicos tradicionales, que limitan el aumento de las patentes en la ciudad y su impacto en la competitividad nacional.

Uno de los principales obstáculos es el retraso en la concesión de patentes. Aunque Bogotá lidera a nivel nacional tanto en solicitudes como en concesiones, los procesos siguen siendo lentos, lo que retrasa la llegada de estos desarrollos al mercado. No obstante, las patentes concedidas aún presentan retrasos, y se espera que su número aumente de forma más significativa en los próximos dos o tres años (SIC, 2024).

A esto se suma que la mayoría de las patentes provienen de universidades, lo que evidencia una baja participación del sector productivo en la generación de propiedad intelectual, y una débil articulación entre la academia y la industria. Además, se observa una tendencia decreciente en la actividad de generación de patentes: entre 2015 y 2022, Bogotá tenía en promedio 289 solicitudes y 122 concesiones anuales, pero en 2023 estas cifras cayeron a 142 solicitudes y 104 concesiones (SIC, 2023).

Finalmente, otro cuello de botella importante es la focalización de la producción científica en formatos académicos tradicionales, como artículos y eventos científicos, mientras que la generación de patentes, prototipos o empresas de base tecnológica sigue siendo limitada.

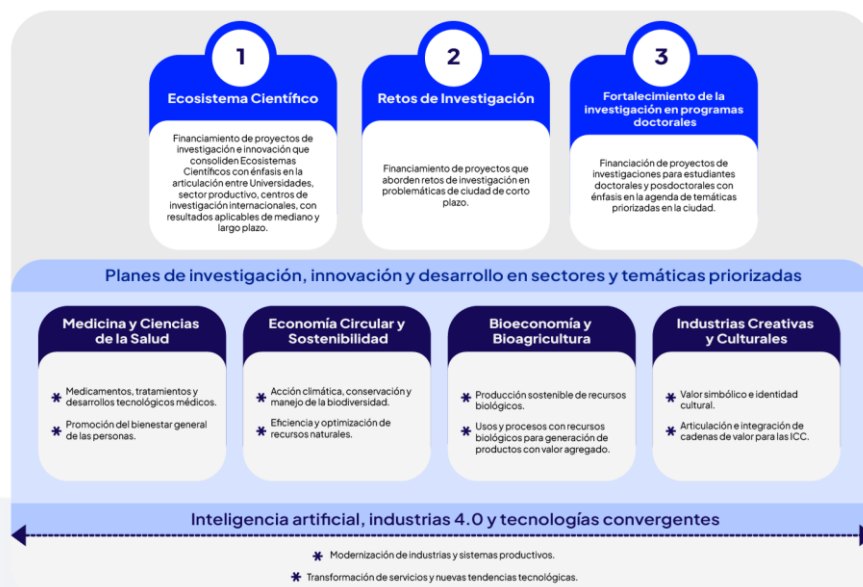
5. Estrategia Atenea - Bogotá Científica

El Programa Bogotá Científica es una de las estrategias insignia del Distrito para potencializar la articulación efectiva de actores de CTel de Bogotá, fortaleciendo sus capacidades en investigación básica, investigación aplicada, desarrollo tecnológico e innovación, de tal manera que se impulse la productividad, la competitividad y el desarrollo económico, así como brindar soluciones de alto impacto a los desafíos actuales del Distrito y contribuir a la construcción de ecosistemas de innovación robustos.

El Programa Bogotá Científica se estructura en tres líneas de acción: i) Ecosistemas Científicos, ii) Retos de investigación y, iii) Fortalecimiento de la investigación en programas doctorales. Estas líneas buscan atender el fortalecimiento de las capacidades asociadas a los sectores y temáticas priorizadas por el Consejo Distrital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Bogotá (CODECTI) a través de la financiación de actividades de CTel que generen investigación aplicada y básica, pero también resulten en productos de desarrollo tecnológico e innovación.

Conforme a la priorización realizada por el Consejo Distrital de Ciencia, Tecnología e Innovación, CODECTI de Bogotá, los programas y proyectos que se financiarán en Bogotá Científica se enmarcan en las cinco temáticas que serán descritas, que son: 1) Economía circular y sostenibilidad; 2) Medicina y ciencias de la salud; 3) Bioeconomía y bioagricultura; 4) Industrias culturales y creativas y; 5) Inteligencia Artificial, Industrias 4.0 y tecnologías convergentes, que tiene una connotación transversal para los demás sectores. como se muestra en la siguiente figura:

Figura 17. Líneas de acción y temáticas priorizadas de Bogotá Científica



Fuente: Gerencia de CTel

En esta sección se describirán los objetivos del programa, las líneas de acción y los instrumentos diseñados para cada línea de acción, considerando los lineamientos que la Agencia ATENEA ha determinado para la estructuración de ecosistemas científicos para la ejecución de programas de I+D+i colaborativos entre industria, academia, y gobierno. Una vez descritos los objetivos, cada línea de acción se describirá junto con los instrumentos correspondientes, iniciando con la estructuración de ecosistemas científicos.

5.1. Contexto - Codecti

El Consejo Distrital de Ciencia, Tecnología e Innovación (CODECTI Bogotá) es la instancia máxima de gobernanza y articulación de la ciencia, innovación y tecnología del distrito, compuesto de diferentes actores expertos para mejorar y fortalecer la capacidad científica, de desarrollo tecnológico. Es el espacio de articulación en el que convergen los representantes de la administración distrital y nacional, el sector empresarial, la academia y la sociedad civil. Su conformación asegura un ejercicio de representatividad, reflejando la diversidad de actores que integran el ecosistema de CTel en la ciudad.

Así mismo, el Consejo incorpora la participación de delegados de la sociedad civil con enfoque étnico, así como de otros actores estratégicos del ecosistema de CTel en calidad de invitados permanentes, con voz en las deliberaciones, aunque no con voto en las decisiones.

La composición del CODECTI Bogotá responde a los lineamientos del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación y se apoya en las organizaciones y entidades responsables de canalizar el diálogo con cada sector representado. En este sentido, el CODECTI Bogotá sigue las funciones establecidas en el Decreto 0979 de 2024, que consisten concertar la planeación y el portafolio de inversiones en CTel, articular políticas y proyectos locales con las agendas nacionales y regionales, emitir conceptos técnicos sobre planes y presupuestos, y proponer estrategias para la internacionalización, financiación y participación de actores del sistema.

A partir de lo anterior, el CODECTI Bogotá definió una agenda estratégica que se enfoca en tres objetivos globales: 1. incrementar la inversión en CTel; 2. fortalecer la articulación de los actores del ecosistema de CTel; y 3. fortalecer las capacidades de la ciudad en temas relacionados con CTel. Dicha agenda estratégica enfoca sus esfuerzos en cinco áreas priorizadas que serán detalladas más adelante:

1. Economía Circular y sostenibilidad
2. Medicina y ciencias de la salud
3. Bioeconomía
4. Industrias culturales y creativas
5. Industrias 4.0, IA y tecnologías convergentes

La agenda se propone como una gran alianza de ciudad que busca desarrollar programas y proyectos que aporten a conseguir los objetivos planteados y a posicionar la ciudad como la más innovadora y emprendedora de América Latina a través de Bogotá Científica.

5.2. Sectores priorizados

La revisión de experiencias relevantes en capítulos anteriores permitió concluir que, en programas que buscan fomentar CTel es importante identificar los sectores que más podrían aprovechar las innovaciones. En las experiencias anteriores Colombia, las alianzas debían proponer programas en alguno de los cinco retos-país identificados; en el caso de Chile y

Malasia, el enfoque fue en el desarrollo del sector educativo; y en el caso japonés, el enfoque fue el desarrollo de CTel de manera transversal en la economía. La priorización de sectores estratégicos constituye un paso fundamental para orientar la inversión y la acción pública en CTel hacia áreas con alto potencial de impacto económico y social.

En este sentido y con el objetivo de potencializar la articulación efectiva de actores de CTel de la ciudad para fortalecer sus capacidades e impulsar la competitividad, el desarrollo económico y brindar soluciones de alto impacto a los desafíos actuales del Distrito, desde el CODECTI se han identificado cuatro sectores clave para el fortalecimiento del ecosistema de CTel en Bogotá. ATENEA, como parte de la administración distrital, se propone acciones para el desarrollo del sector CTel y del fortalecimiento de las IES localizadas en Bogotá. Los sectores priorizados incluyen, a su vez, distintas áreas de conocimiento, así:

- **Economía circular y sostenibilidad.**¹⁹ Cuyas áreas del conocimiento incluyen las Ciencias de la Tierra y Medioambientales, Ingeniería Ambiental, Ingeniería Civil, Ingeniería de los Materiales, Biotecnología Ambiental, Biotecnología Industrial.
- **Medicina y ciencias de la salud.** Cuyas áreas del conocimiento incluyen la medicina básica, medicina clínica, ciencias de la salud, biotecnología en salud y otras ciencias médicas.
- **Bioeconomía y bioagricultura.** Cuyas áreas del conocimiento incluyen las Ciencias Biológicas y Químicas, Biotecnología Industrial y Biotecnología Agrícola.
- **Industrias culturales y creativas.**²⁰ Cuyas áreas del conocimiento incluyen las Arte, Música, Diseño, Producción Multimedia y Producción Audiovisual, Publicidad.
- **Transversal: Inteligencia Artificial, Industrias 4.0 e Industrias convergentes.**²¹ Cuyas áreas de conocimiento incluyen las ingenierías (Eléctrica, Electrónica, Informática), Nanotecnología, Computación y Ciencias de la Información.

En las subsecciones siguientes, se presentará para cada uno de estos sectores un análisis que combina dos dimensiones complementarias: por un lado, la importancia del sector para el desarrollo de la ciudad y, por otro, el estado actual de las capacidades en CTel de cada uno de

¹⁹ “La Economía Circular es un sistema de producción y consumo que promueve la eficiencia en el uso de materiales, agua y energía; teniendo en cuenta la capacidad de recuperación de los ecosistemas y el uso circular de los flujos de materiales a través de la implementación de innovaciones tecnológicas, alianzas y colaboraciones entre actores, y el impulso de modelos de negocio que respondan a los fundamentos del desarrollo sostenible” (DANE, 2020).

²⁰ De acuerdo con la Ley 1834 del 2017, las industrias creativas abarcan a los sectores editoriales, audiovisuales, fonográficos, de artes visuales, de artes escénicas y espectáculos, de turismo y patrimonio cultural material e inmaterial, de educación artística y cultural, de diseño, publicidad, contenidos multimedia, software de contenidos y servicios audiovisuales interactivos, moda, agencias de noticias y servicios de información, y educación creativa.

²¹ Industrias 4.0 se definen como, “modelo industrial para la autoorganización y la autogestión de sistemas de producción totalmente automatizados, que aprenden autónomamente y que son interactivos, en los que el núcleo son las nuevas tecnologías digitales y las tecnologías de Internet, y el papel de los humanos está limitado a su inicio, control y mantenimiento técnico” (MINTIC, 2019). Se define la convergencia industrial como “la aparición de nuevas conexiones entre áreas tecnológicas, procesos de trabajo, empresas, cadenas de suministro e incluso sectores industriales enteros que antes no estaban relacionados” (Stern, 2021).

los sectores priorizados. Este enfoque permite comprender el papel estratégico de cada sector dentro de la agenda de especialización de Bogotá y su potencial para contribuir a la consolidación de una ciudad del conocimiento.

5.2.1. Economía circular y sostenibilidad.

En términos generales, la economía circular se entiende como los “sistemas de producción y consumo que promuevan la eficiencia en el uso de materiales, agua y la energía, teniendo en cuenta la capacidad de recuperación de los ecosistemas, el uso circular de los flujos de materiales a través de la implementación de la innovación tecnológica, alianzas y colaboraciones entre actores, y el impulso de modelos de negocio que responden a los fundamentos del desarrollo sostenible. (DANE, 2024).

En América Latina y el Caribe, la economía circular se reconoce como una estrategia para el desarrollo sostenible, con beneficios económicos, ambientales y sociales (CEPAL, 2021). Su implementación podría generar más de 10.000 millones de dólares en valor agregado, 460.000 empleos adicionales y un aumento del PIB regional de hasta 0,18% (CEPAL, 2021). En Colombia, se proyecta un incremento del PIB del 3,2% y del empleo en 2,9% hacia 2030, mediante medidas como la responsabilidad extendida del productor (CEPAL, 2023).

En Colombia, las políticas de economía circular podrían reducir las emisiones en un 3,2% para 2030 (CEPAL, 2023), y empresas como Nestlé han logrado disminuir más de 75.000 toneladas de CO₂ equivalente mediante ecodiseño y materiales reciclados (CEMPRE, 2025). En Bogotá, las emisiones bajaron en 2020 a 9.350.785 tCO₂eq, pero aumentaron a 9.832.700 en 2022, lo que refuerza la necesidad de fortalecer estrategias circulares para reducir emisiones en sectores clave.

En este contexto, el sector desempeña un rol fundamental en el desarrollo sostenible de Bogotá, al enfrentar desafíos ambientales prioritarios para la ciudad. Entre las problemáticas más relevantes se encuentran la transformación y el aprovechamiento de los residuos sólidos, así como la reducción de las emisiones de CO₂. Abordar estas cuestiones es clave para mejorar la calidad ambiental, promover una economía circular y mitigar los efectos del cambio climático en el entorno urbano.

En el nivel nacional, conviene enmarcar esta agenda en la Política de Crecimiento Verde adoptada mediante el Documento CONPES 3934 de 2018, que establece una hoja de ruta al 2030 para aumentar productividad y competitividad con uso sostenible del capital natural y, dentro de ello, impulsa la eficiencia en el uso de recursos y energía como condición habilitante para transitar hacia esquemas circulares. En un plano más específico, el Documento CONPES 4004 de 2020 desarrolla un enfoque de economía circular aplicado a la gestión de los servicios de agua potable y al manejo de aguas residuales, enfatizando el uso eficiente del recurso hídrico, el tratamiento y reúso, y el fortalecimiento institucional y de información para sostener la oferta y calidad del servicio en el largo plazo. Este doble marco es relevante para Bogotá porque conecta la política distrital reciente con una orientación nacional que ya define prioridades,

instrumentos y responsabilidades sectoriales para acelerar la transición circular, en particular en el componente hídrico.

Bogotá ha avanzado en economía circular con el CONPES D.C. No. 35 (noviembre de 2023), que establece una política pública liderada por la Secretaría de Educación, la Universidad Distrital y ATENEA, orientada a fomentar hábitos sostenibles y fortalecer la gobernanza. Al cierre de 2023, su avance fue del 12,33%, superando la meta del 9,75% (DANE, 2024). Los resultados incluyen el aprovechamiento de más de 700 toneladas de residuos orgánicos, el acompañamiento a 77 empresas en construcción sostenible y 166 participantes en la Red de Moda Circular, evidenciando innovación, colaboración y generación de empleo (CEMPRE, 2025).

Así, los sectores económicos vinculados a la temática en la priorización del CODECTI, según la Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU), son diversos e incluyen:

- Explotación de minas y canteras
- Elaboración de productos alimenticios, bebidas
- Fabricación de productos: textiles, de papel y cartón, de refinación de
- petróleo, sustancias y productos químicos, de caucho y plástico,
- metalúrgicos, muebles,
- Curtido y recurtido de cueros, de madera y corcho
- Suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado
- Distribución de agua, evacuación y tratamiento de aguas residuales,
- recolección, tratamiento y disposición de desechos, recuperación de materiales, Actividades de saneamiento ambiental y otros servicios de gestión de desechos
- Construcción
- Transporte y almacenamiento

Para apoyar la transición a sistemas de producción eficientes, sostenibles y amigables con el medio ambiente, Bogotá cuenta con capacidades científicas y tecnológicas relevantes. La ciudad alberga 309 investigadores reconocidos, con alta concentración en Ciencias de la tierra y Medioambientales (112) e ingeniería civil (103), y 100 grupos de investigación en áreas como biotecnología ambiental, ingeniería de materiales y ciencias de la tierra. Además, se han elaborado más de 2.000 productos científicos, entre publicaciones, desarrollos tecnológicos y procesos de apropiación social del conocimiento (Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, 2021). Instituciones como la Universidad Nacional, los Andes, la Javeriana, la Distrital y el SENA lideran iniciativas que impulsan tendencias tecnológicas como biomateriales, captura de carbono, movilidad sostenible y análisis de ciclo de vida.

Estas capacidades permiten que Bogotá avance en la economía circular mediante la articulación entre conocimiento científico, innovación tecnológica y acción pública. En este marco, destacan tendencias como el desarrollo de biomateriales, eficiencia energética, gestión de residuos, captura de carbono, movilidad sostenible, biotecnología ambiental y análisis de ciclo de vida, que reflejan un enfoque integral hacia la sostenibilidad, la descarbonización y la transformación productiva.

Finalmente, los impactos esperados del sector a través de la estrategia Bogotá Científica según el CODECTI son: incremento del 2,4% al 8% en la proporción de productos de desarrollo tecnológico, implementación de un programa de gestión integral para el uso del recurso hídrico en Bogotá y la región, y reducción del 50% en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) al 2030.

5.2.2. Medicina y ciencias de la salud.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) (WHO, 2024), la salud se entiende como un estado de completo bienestar físico, mental y social, y no solo la ausencia de afecciones o enfermedades. Esto implica un enfoque integral que considera no solo los aspectos biológicos, sino también los factores sociales y ambientales que afectan la salud de las personas; por lo anterior, la medicina se fundamenta en la evidencia científica y se apoya en diversas disciplinas, como la biología, la farmacología y la epidemiología. En consonancia, las ciencias de la salud incluyen además de la medicina a otras disciplinas como la enfermería, la salud pública, la nutrición y la fisioterapia, entre otras (Guerrero & León, 2008).

El sector salud tiene una relevancia estratégica para Bogotá por su papel en la atención de los principales desafíos de salud pública, entre ellos las enfermedades crónicas no transmisibles, las desigualdades territoriales y las brechas de acceso a los servicios médicos. En 2022, por ejemplo, la tasa de mortalidad prematura por enfermedades crónicas fue de 128,68 muertes por cada 100.000 habitantes, equivalentes a más de 10.000 fallecimientos anuales (SaluData, 2022). A esto se suman altos niveles de desigualdad social y una cobertura insuficiente de servicios: solo el 37% de las manzanas de la ciudad cuentan con atención médica, lo que refleja un déficit estructural, especialmente en los sectores occidental y sur, agravado por la demanda adicional de habitantes de municipios vecinos (Secretaría Distrital de Planeación, 2024).

Para la construcción del diagnóstico de las capacidades de ciencia, tecnología e innovación del sector, se consideran las siguientes áreas de conocimiento, de acuerdo con la clasificación de los campos de conocimiento de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD, 2018):

- Medicina básica
- Medicina clínica
- Ciencias de la salud
- Biotecnología en salud
- Otras ciencias médicas.

Desde el punto de vista de las actividades económicas que se consideran parte de la temática, según la Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU) (DANE, 2022), las áreas relacionadas son:

- Fabricación de productos farmacéuticos, sustancias químicas medicinales y productos botánicos de uso farmacéutico.
- Actividades de atención de la salud humana.
- Actividades de atención residencial medicalizada.
- Actividades de asistencia social sin alojamiento.
- Regulación de las actividades de organismos que prestan servicios de salud.
- Seguridad social.
- Investigación científica y desarrollo (en salud).

Ahora, en lo que respecta a las capacidades de investigación según datos de Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (2021), en Bogotá concentra el 20% de los grupos de investigación en Ciencias Médicas y de la Salud de todo el país, de los cuales el 45,5% pertenecen al área de Medicina Clínica y el 36,7% a Ciencias de la Salud. Además, se observa una menor presencia de los grupos de investigación en áreas como Medicina Básica y Biotecnología en Salud, que en conjunto representan cerca del 10% del total de grupos en este sector. Por otro lado, se evidencia que el 57% de los grupos de investigación relacionados con salud en Bogotá al igual que a nivel nacional se encuentran en categoría B y C, y el 8% en categoría de reconocido y el 35% en las categorías A y A1, lo que refleja alta calidad y madurez científica.

Estos grupos reúnen en total 1.687 investigadores, de los cuales el 72,26% tiene formación de alto nivel (doctorado y maestría). Además, el 62% de la producción científica de los grupos de investigación que pertenecen al área de la salud en Bogotá, corresponde a la generación de nuevo conocimiento, el 35% a apropiación social del conocimiento y tan solo el 2% a desarrollo tecnológico e innovación. En cuanto a las instituciones líderes en investigación, docencia y transferencia tecnológica se destacan la Universidad Nacional de Colombia, la Pontificia Universidad Javeriana, la Universidad de los Andes, la Universidad del Rosario y la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, junto con una red de hospitales universitarios tales como el Hospital Universitario San Ignacio, el Hospital Santa Clara, Méderi y la Fundación Santa Fe de Bogotá (Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, 2021).

En complemento a la caracterización de capacidades desde la oferta científica, el reporte PINNOS (2025) aporta una lectura del ecosistema de innovación en salud desde su estructura de actores, focos de solución y referentes de adopción. El mapeo identifica 269 organizaciones activamente comprometidas con innovación en salud, con predominio del sector privado y una participación pública aún minoritaria, lo que sugiere que parte importante de la dinámica de innovación ocurre fuera del circuito estrictamente académico y depende de capacidades de implementación, gestión y escalamiento. Además, PINNOS distingue roles que ayudan a entender por qué la producción científica no se traduce automáticamente en resultados de uso, ya que junto a los innovadores aparecen facilitadores o conectores, gestores de conocimiento, formadores y financiadores como piezas necesarias para articular capacidades y acelerar adopción. En términos de orientación, las soluciones registradas se concentran especialmente en prevención y salud pública, y en eficiencia operativa y gestión de datos y registros médicos, lo cual dialoga directamente con las brechas descritas en esta sección en materia de carga de

enfermedad, acceso y limitaciones del sistema para cubrir el territorio con servicios y capacidades de información. Para Bogotá, el reporte resalta iniciativas como Bogotá MAS Bienestar, basada en interoperabilidad de sistemas de información, analítica de datos poblacionales y gestión del riesgo territorial y familiar, y Bogotá Bio, con potencial para articular biotecnología aplicada a la salud y facilitar transferencia desde la academia, conexión con inversionistas y acceso a infraestructura. En conjunto, estos hallazgos refuerzan que el reto sectorial no es únicamente aumentar capacidades de investigación, sino fortalecer los puentes institucionales y de mercado que conectan dichas capacidades con validación, adopción y escalamiento de soluciones en el sistema de salud.

Al priorizar este sector, se espera que Bogotá avance hacia la consolidación de un esquema integral de producción de medicamentos y vacunas. Asimismo, se proyecta un incremento del 1,8 % al 5 % en la proporción de productos asociados al desarrollo tecnológico y la innovación, impulsando la competitividad científica y productiva. Por último, se busca transformar la cadena productiva y de atención del sector con énfasis en el bienestar de la población.

5.2.3. Bioeconomía y bioagricultura.

La crisis climática y la explotación ambiental ha llevado a que sea fundamental modificar patrones de consumo y producción, que sean más amigables con el ambiente y reconociendo las brechas de desigualdad en especial en países en desarrollo como Colombia, cuya economía depende ampliamente de la explotación de recursos fósiles, en particular petróleo y gas (PNUD, 2024). Ante este escenario, la bioeconomía, también conocida como economía de base biológica, o economía bio-basada, plantea un modelo integral de desarrollo con sostenibilidad ambiental, social y económica, incorporando nuevo conocimiento y avances científicos y tecnológicos para el desarrollo de nuevas alternativas de producción y consumo, que impulsen la aplicación de nuevas tecnologías en el aprovechamiento sostenible de los recursos. La bioeconomía busca aprovechar recursos en toda la cadena productiva de industrias que utilizan recursos naturales, como la agricultura y minería, reduciendo el nivel de residuos y generando esquemas productivos más sostenibles (Hodson, 2018).

El desarrollo de este nuevo paradigma de la bioeconomía y la bioagricultura permite responder a las demandas de la sociedad en cuanto a alimentos, ambiente, mitigación y adaptación al cambio climático, promoción de la resiliencia y gestión sostenible de recursos vitales del planeta como la biodiversidad, los suelos fértiles, el agua limpia y suficiente (*Global Bioeconomy Summit-GBS*, 2015a). En particular en Colombia, según ProBogotá, la bioeconomía cuenta con un potencial en la producción de biomasa residual, comercialización para los productos para la salud y cosméticos y biocombustibles.

En el plano nacional, esta agenda también se conecta con la Política de Crecimiento Verde adoptada mediante el CONPES 3934, que propone una hoja de ruta para transformar patrones de producción y consumo hacia mayor eficiencia en el uso de recursos, menor presión ambiental y nuevas oportunidades productivas basadas en innovación. Este marco es relevante para la bioeconomía y la bioagricultura porque reconoce que la transición no depende solo de regulación ambiental, sino de capacidades científicas y tecnológicas que permitan sustituir insumos fósiles, diversificar la canasta productiva y generar valor agregado a partir de biomasa

y recursos biológicos bajo criterios de sostenibilidad. Incorporar esta referencia ayuda a ubicar la priorización del sector en Bogotá dentro de una orientación país que ya plantea la necesidad de articular conocimiento, productividad y sostenibilidad, y refuerza el argumento de que la bioeconomía no es una agenda sectorial aislada, sino un componente de transformación estructural con instrumentos y prioridades que trascienden el nivel distrital.

En este marco, el CODECTI Bogotá identificó la bioeconomía como temática prioritaria por su capacidad para integrar innovación científica, sostenibilidad ambiental y productividad del territorio, con base en un ejercicio metodológico que consideró demandas territoriales, producción científica, análisis bibliométricos, informes prospectivos y la Estrategia de Especialización Inteligente (EEI).

Para la construcción del diagnóstico de las capacidades de ciencia, tecnología e innovación del sector, se consideran las siguientes áreas de conocimiento, de acuerdo con la clasificación de los campos de conocimiento de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD, 2018):

- Ciencias Biológicas
- Ciencias Químicas
- Biotecnología Industrial
- Biotecnología Agrícola

Desde el punto de vista de las actividades económicas que se consideran parte de la temática, según la Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU) (DANE, 2022), las áreas relacionadas son:

- Agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca
- Extracción de carbón de piedra y lignito, petróleo crudo y gas natural, minerales metalíferos
- Transformación de la madera y fabricación de productos de madera y de corcho
- Coquización, fabricación de productos de la refinación del petróleo y actividad de mezcla de combustibles
- Fabricación de productos: botánicos de uso farmacéutico, caucho y plástico, minerales no metálicos
- Captación, tratamiento y distribución de agua
- Suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado

En cuanto a las capacidades de investigación, la cantidad de grupos de investigación que impulsa el sector de bioeconomía es de 164, 8% del total distrital. Desagregado por área tenemos que para ciencias Biológicas: 111 grupos de los cuales 23 son A1, 28 son A, 20 son tipo B y 31 son tipo C, por otra parte, para ciencias químicas hay 51 grupos, 10 son tipo A1; 12 son tipo A; 4 son tipo B; 22 son tipo C y por último de biotecnología agrícola e industrial tienen nada más dos grupos de investigación en Bogotá, viendo una diferencia bastante grande con respecto al resto del país que hay 19, se puede ver la carencia de Bogotá con este tipo de grupos respecto al resto del país.

Este sector cuenta con 786 investigadores reconocidos, un 8% del total de la ciudad, de esos 613 se concentran en las áreas de ciencias biológicas, 158 en ciencias químicas, 26 en biotecnología industrial, y 18 en biotecnología agrícola mayormente compuesto por investigadores de tipo junior y asociado, lo que hace que haya potencial, pero aún falta el experto en estas áreas, por tanto, es importante impulsar estas ramificaciones. Estos investigadores han realizado más de 4000 productos entre publicaciones, desarrollos tecnológicos, apropiación social y formación de talento humano.

Se espera que sectores como agricultura sostenible, biotecnología y bioenergía sean impulsados a través de Bogotá Científica para potenciar el desarrollo industrial en Bogotá Región, con el desarrollo de 50 productos saludables y químicos de uso medicinal o industrial creados a partir de la biomasa, recursos biológicos y especies nativas, y el Incremento en la proporción de productos de desarrollo tecnológico e innovación de 1,3% a 4%.

5.2.4. Industrias culturales y creativas.

En las tendencias actuales del sector de Industrias Culturales y Creativas (ICC) identificadas por Atenea (2025) en Bogotá se destacan procesos que articulan la creación artística con la innovación tecnológica y la sostenibilidad. La economía creativa y el desarrollo sostenible se orientan a analizar el impacto económico de las ICC, su contribución al empleo y su papel en la promoción de industrias culturales locales, con aplicaciones como el reciclaje creativo, el turismo cultural sostenible y la educación artística para el desarrollo. El desarrollo de nuevos medios de comunicación integra tecnologías digitales en la producción musical, audiovisual y educativa, promoviendo el uso de plataformas interactivas, inteligencia artificial, *podcasts* y transmisión en línea.

La innovación tecnológica ha potenciado la digitalización del patrimonio cultural, el desarrollo de plataformas colaborativas y la producción audiovisual avanzada, impulsando al mismo tiempo nuevas formas de participación y consumo cultural. Estas transformaciones reflejan una transición hacia modelos más conectados, sostenibles y centrados en el usuario, que fortalecen el papel del sector cultural como motor del desarrollo social y económico de Bogotá. De esta manera, en 2022, las actividades artísticas, de entretenimiento y recreación registraron un crecimiento del 29,2 %, aportando 1,6 puntos porcentuales al aumento total del PIB distrital, que fue del 9,9 % (Secretaría Distrital de Planeación, 2024).

Así mismo, el valor agregado del sector superó los 17,2 billones de pesos en 2022, lo que representa el 5,5 % del valor agregado total de la ciudad y el 61,8 % del valor agregado nacional (excluyendo el turismo cultural). Estas cifras evidencian que las industrias culturales y creativas no solo aportan al crecimiento económico, sino que también consolidan a Bogotá como el principal centro creativo y cultural del país, con un papel clave en la transformación hacia una economía basada en el conocimiento, la innovación y la diversidad cultural.

Este sector incluye las actividades económicas relacionadas con la producción, distribución y consumo de bienes y servicios culturales y creativos. Abarcan una amplia gama de sectores que van desde las artes visuales, el cine, la música, la literatura, el diseño, la moda, hasta la arquitectura y los medios de comunicación (UNESCO, 2010). En este sentido, las siguientes

áreas y disciplinas de conocimiento, fueron parte de la priorización del CODECTI, de acuerdo con la clasificación de los campos de conocimiento de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD, 2018):

- Arte: Artes plásticas y visuales, música, danza o artes danzarias, teatro, dramaturgia o artes escénicas, diseño, artes audiovisuales y otras artes.
- Historia y arqueología: Arqueología
- Idiomas y literatura: Estudios Literarios y lingüística
- Otras historias: Historia del arte
- Otras humanidades: Estudios del folclor

Desde el punto de vista de las actividades económicas que se consideran que hacen parte de este sector, se contemplan las siguientes, de acuerdo con la Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU) (Dane, 2022):

- Actividades de impresión y de producción de copias a partir de grabaciones originales
- Actividades de edición
- Actividades cinematográficas, de video y producción de programas de televisión, grabación de sonido y edición de música
- Actividades de programación, transmisión y/o difusión
- Actividades creativas, artísticas y de entretenimiento
- Actividades de bibliotecas, archivos, museos y otras actividades culturales
- Actividades deportivas y actividades recreativas y de esparcimiento

En cuanto a las capacidades de investigación del sector de Industrias Culturales y Creativas relacionadas con la CTel, los datos aportados por Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (2021) revelan que la mayoría de los investigadores dentro de este sector cuentan con la categoría junior (69,21%), seguidos de la categoría asociado (25,56%). Por su parte, los investigadores senior corresponden al 4,66 %, y se registra un 0,56% de investigadores eméritos en este campo. Además, la mayor parte de los investigadores desarrolla su trabajo en el área de conocimiento de Arte. En este sector, las investigaciones se enfocan principalmente en los procesos de creación, producción y circulación cultural, el uso de tecnologías aplicadas a las artes y la valorización del patrimonio material e inmaterial. Este concentra el 11% de los grupos de investigación de la ciudad, de los cuales cerca del 78% pertenecen a las áreas de arte y otras humanidades. Del total de grupos de investigación la mayoría están categorizados como C (35,2%) y B (23,9%), el 15% como A y el 10,3% como A1 y el 15,49% como reconocido.

En cuanto a la producción científica, el 48% de los productos son de nuevo conocimiento (sobre todo como artículos de investigación en música, teatro o artes escénicas, diseño, artes audiovisuales, arqueología, literatura e historia del arte), el 28% de formación de recurso humano (tesis de pregrado y maestría en las mismas áreas señaladas anteriormente y proyectos de investigación y desarrollo), el 22% de apropiación social del conocimiento y divulgación pública de la ciencia (eventos de divulgación del conocimiento en estas áreas), y solo el 2% de desarrollo tecnológico e innovación (innovación tecnológica para cine, artes digitales, contenido

multimedia, producciones audiovisuales, realidad virtual para artes y prototipos funcionales para pilotos de promoción cultural).

Entre las instituciones que lideran el desarrollo de CTel dentro del sector de Industrias Culturales y Creativas en Bogotá, se destacan la Universidad Nacional de Colombia, la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, a través de su Facultad de Artes ASAB, la Pontificia Universidad Javeriana y la Universidad de los Andes, esta última con iniciativas especializadas como el Creativity Center.

Así, al priorizar las Industrias Culturales y Creativas (ICC) como un sector estratégico se espera un incremento en la proporción de productos con desarrollo tecnológico e innovación, pasando del 1,9 % al 5 %, que contribuya al posicionamiento de Bogotá como centro de creación digital en Latinoamérica. También, se espera el fortalecimiento de la convergencia digital y transformación de las Industrias Culturales y Creativas a través del impulso del talento humano especializado en tecnologías digitales y la consolidación de Bogotá como la capital de las artes y la cultura del país.

5.2.5. Elemento Transversal: Inteligencia Artificial, Industrias 4.0 e Industrias convergentes.

La inteligencia artificial (IA)²² se ha consolidado como una herramienta clave para la automatización de procesos, el aprendizaje autónomo y la toma de decisiones basadas en datos. En 2024, el mercado de IA en América Latina alcanzó los USD 8.96 mil millones, con proyecciones de crecimiento que estiman un valor de USD 40.65 mil millones para 2034, a una tasa anual del 18.3 % (Invest in Bogotá, 2025).

En los últimos años ha ganado especial visibilidad la IA generativa, entendida como un conjunto específico de técnicas dentro del campo más amplio de la IA, orientadas a producir texto, imágenes, código u otros contenidos. Su escalamiento reciente se explica por la disponibilidad de modelos de propósito general, la reducción de barreras de acceso mediante servicios en la nube y herramientas de desarrollo, y su integración rápida en procesos productivos y de servicios. Esta precisión es relevante porque evita equiparar IA con IA generativa, y permite mantener una lectura tecnológica más completa sobre automatización, analítica avanzada, visión computacional, robótica y sistemas ciberfísicos, que siguen siendo componentes centrales de las industrias 4.0 y convergentes.

Colombia se ha posicionado como un actor relevante en inteligencia artificial (IA), con un desempeño actualizado en el Government AI Readiness Index 2024, donde registra un puntaje de 59.33 y destaca en el pilar de Gobierno con 71.96, aunque persisten debilidades relativas en el componente asociado al sector tecnológico, con 39.00, lo que refuerza los desafíos en capital humano y capacidades productivas. De manera complementaria, el Índice Latinoamericano de

²² La inteligencia artificial se define como un campo de estudio y un tipo de tecnología que se caracteriza por el desarrollo y uso de máquinas que son capaces de realizar tareas que normalmente habrían requerido inteligencia humana (World Economic Forum, 2023), como el aprendizaje, el razonamiento y la toma de decisiones (European Parliamentary, 2020).

Inteligencia Artificial (ILIA) ubica a Colombia en el cuarto lugar entre los países evaluados y registra un ascenso de un puesto frente a la medición anterior, lo que sugiere avances recientes, pero también brechas estructurales pendientes.

Este marco se alinea con la evolución de la política nacional, donde el CONPES 3975 estableció la Política Nacional para la Transformación Digital e Inteligencia Artificial y el CONPES 4144 aprobó la Política Nacional de Inteligencia Artificial con horizonte 2030, incorporando lineamientos para capacidades, adopción, gestión de riesgos y gobernanza ética. Este liderazgo se complementa con el avance de las industrias 4.0, que integran tecnologías como *Big Data*, *IoT* y robótica. En 2024, el mercado de Big Data en América Latina alcanzó USD 7.84 mil millones, con proyecciones de USD 13.01 mil millones para 2029; Colombia representa el 7.9 % del mercado regional (Invest in Bogotá, 2025). Bogotá sobresale por su infraestructura digital y eficiencia energética en centros de datos, consolidándose como referente en sostenibilidad tecnológica.

Entre 2018 y 2022, Colombia atrajo 30 proyectos de inversión extranjera directa en IA, por USD 924 millones y 6,237 empleos, con tasas de crecimiento superiores al promedio regional (Invest in Bogotá, 2023). Además, el 59 % de las organizaciones colombianas implementaron soluciones de IA en menos de seis meses, y el 82 % de las grandes empresas planea aumentar su presupuesto en IA en los próximos dos años. Bogotá-Región concentró el 63.3 % de los proyectos nacionales, posicionándose como la segunda ciudad de la región con mayor número de iniciativas concretadas, gracias a factores como mano de obra calificada, bilingüismo y ubicación estratégica (Invest in Bogotá, 2025).

Este entorno tecnológico requiere una base sólida de talento humano, y Bogotá se destaca también en este aspecto. Es la quinta fuente de talento más importante de América Latina, con más de 6 millones de personas en su fuerza laboral y el 43 % de los graduados de educación posmedia del país (Invest in Bogotá, 2025). Además, concentra el 34 % de los graduados en carreras STEM, fundamentales para el desarrollo de estas industrias (Invest in Bogotá, 2025).

A partir de esta dinámica, es importante considerar las áreas de conocimiento que sustentan estas transformaciones. Esta temática abarca, de acuerdo con la clasificación de los campos de conocimiento de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD, 2018):

- Ciencias Naturales: Matemáticas, Computación y Ciencias de la Información
- Ingeniería: Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Nanotecnología

En correspondencia con estas áreas, los sectores y actividades económicas relacionados con las Industrias 4.0, según la Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU), incluyen:

- Fabricación de productos informáticos, electrónicos y ópticos
- Fabricación de aparatos y equipo eléctrico
- Desarrollo de sistemas informáticos (planificación, análisis, diseño, programación, pruebas), consultoría informática y actividades relacionadas
- Investigación científica y desarrollo

Esta temática transversal representa un enfoque integrador clave para la competitividad global y el desarrollo sostenible, al incentivar soluciones innovadoras y apoyar a otros sectores como habilitador. El CODECTI identificó su potencial en áreas como el medio ambiente, con tecnologías como la IA para mejorar la gestión ecológica; la salud, mediante telemedicina y tratamientos personalizados; y la agricultura, con automatización y análisis de datos para mayor sostenibilidad. También impulsa a las industrias culturales y creativas con herramientas digitales, y transforma la manufactura a través de la digitalización y personalización, fortaleciendo así la CTel en toda la ciudad.

Este impulso se ve respaldado por las capacidades científicas y de investigación de Bogotá, que cuenta con fortalezas en ingeniería, automatización, robótica y computación. Actualmente, se reconocen 502 investigadores (≈ 5 % del total de la ciudad) y 180 grupos de investigación (9 % del total), con una producción científica que supera los 3.700 productos, incluyendo artículos académicos, desarrollos tecnológicos, software y procesos de apropiación social (Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, 2021). Entre las instituciones que lideran el desarrollo de CTel en el sector se encuentran la Universidad Nacional de Colombia, la Universidad de los Andes, la Pontificia Universidad Javeriana, la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, la ECCI y el Politécnico Gran Colombiano.

Estas capacidades científicas se articulan con un ecosistema empresarial robusto, conformado por más de 6.000 empresas digitales y de *software*, con un crecimiento acelerado en sectores como servicios financieros digitales, educación virtual y soluciones basadas en datos (Cámara de Comercio de Bogotá [CCB], 2024). Empresas como Arkebios SAS, Kuspyde Ingeniería SAS y Empresa Colombiana de Innovación SAS complementan este entorno de innovación, fortaleciendo la sinergia entre academia, industria y desarrollo tecnológico.

Por el lado del emprendimiento, Bogotá concentra una proporción mayoritaria de startups del país y capta la mayor parte del venture capital levantado en Colombia, lo que confirma su rol como nodo nacional de escalamiento. Esta concentración no solo expresa oferta empresarial, sino también capacidad de conectar talento, infraestructura digital, demanda y financiamiento. En términos sectoriales, el ecosistema de startups en Bogotá muestra una participación alta de verticales como FinTech y una presencia relevante de otras líneas tecnológicas, lo que refuerza la importancia de la IA y las tecnologías 4.0 como habilitadores transversales de productividad e innovación. Asimismo, la evidencia reciente destaca que la IA se está convirtiendo en una capacidad estratégica dentro de las startups, pero que su despliegue enfrenta retos asociados a disponibilidad de talento especializado, datos, adopción organizacional y escalamiento comercial, lo cual dialoga directamente con las brechas identificadas en el diagnóstico sobre transferencia y maduración.

Por otra parte, las tendencias tecnológicas más relevantes para el sector abarcan la aplicación de inteligencia artificial (IA), el uso de *machine learning* y *big data* para optimizar procesos, y el fortalecimiento de la ciberseguridad. También se destacan la simulación, la automatización industrial, la manufactura avanzada y la robótica, tecnologías que impulsan la eficiencia, la innovación y la competitividad en entornos productivos y de servicios.

Finalmente, los impactos esperados del sector reflejan la magnitud de esta transformación: consolidación de una gobernanza ética de la inteligencia artificial (IA) que permita su apropiación en Bogotá, superar el 70% de adopción de IA en el *Global AI Adoption Index*, y establecer un centro de inteligencia artificial para resolver problemáticas de ciudad. Asimismo, se proyecta el uso completo y activo de la IA en el 90% de las entidades del Distrito Capital. Respecto a industrias 4.0, se espera alcanzar un grado de digitalización superior al 50% en la industria bogotana, consolidar un ecosistema maduro e intensivo en analítica de datos y lograr el 100% de interoperabilidad de datos, sistemas y aplicativos en el Distrito Capital, soportados en tecnologías emergentes como *IoT*, nube y *blockchain*.

5.3. Líneas de acción e instrumentos

Como producto del análisis llevado a cabo anteriormente, el programa Bogotá Científica se estructura en tres líneas de acción: i) Ecosistemas Científicos, ii) Retos de investigación y, iii) Fortalecimiento de la investigación en programas doctorales²³. Estas líneas de acción buscan atender el fortalecimiento de las capacidades asociadas a los sectores y temáticas priorizadas que fueron descritas en el apartado anterior, corregir fallas de articulación entre actores e instrumentos, orientar la agenda de investigación hacia problemas y misiones de ciudad, y acelerar la traducción del conocimiento en resultados verificables. Para ello, el programa financia actividades de CTel que combinan investigación aplicada y básica, pero que además se traduzcan en productos de desarrollo tecnológico e innovación, con trayectorias de validación, adopción e implementación en el territorio.

5.3.1. Ecosistemas Científicos

La línea de Ecosistemas Científicos constituye la apuesta estructurante de Bogotá Científica para pasar de capacidades científicas dispersas a capacidades colectivas con resultados acumulables. Su pertinencia se deriva directamente del diagnóstico del ecosistema.

- En primer lugar, el diagnóstico muestra una estructura con capacidades relevantes, pero fragmentada, donde una proporción importante de la actividad científica ocurre sin colaboración sostenida y con vínculos intersectoriales todavía débiles. Ese patrón implica costos de coordinación altos, duplicación de esfuerzos, baja complementariedad entre capacidades y una limitada acumulación de conocimiento aplicado. Desde la teoría de sistemas y ecosistemas de innovación, esto describe un ecosistema con densidad relacional insuficiente para producir *spillovers*, aprendizaje interactivo y co-desarrollo tecnológico, que son precisamente los mecanismos que permiten pasar de resultados individuales a resultados sistémicos. En ese contexto, los ecosistemas científicos son un arreglo institucional mínimo que hace posible coordinación, asignación de roles, reglas de interacción y continuidad en el tiempo, todo alrededor de un objetivo verificable.

²³ Se usa como referencia las tres líneas de intervención del programa Colombia Científica, experiencia en la que se inspira este diseño.

Asu vez, la fragmentación descrita en el diagnóstico se agrava cuando la inversión se dispersa en múltiples agendas sin acumulación. Por ello, los ecosistemas también deben corresponder con los sectores priorizados en la gobernanza territorial, de modo que los resultados se inserten en apuestas de ciudad reconocibles y sostenibles. Justamente, el programa facilita la construcción de masa crítica, ordena portafolios acumulativos y articula instrumentos distritales alrededor de prioridades sectoriales compartidas.

- En segundo lugar, el diagnóstico identifica una brecha persistente en la traducción de investigación hacia transferencia tecnológica e innovación aplicada, asociada a incentivos y métricas que han privilegiado productos académicos frente a resultados de adopción, validación o uso. Esa desalineación aparece, además, reforzada por el tipo de instrumentos que tienden a medir lo que es fácil de contar, como publicaciones, y a dejar en segundo plano lo que es más complejo de trazar, como prototipos validados, acuerdos de transferencia, cambios en procesos productivos o adopción en entidades públicas. La línea de Ecosistemas Científicos funciona como un dispositivo de alineación entre lo que el sistema produce y lo que el territorio necesita. Su valor agregado no es hacer más investigación, sino hacer verificable el tránsito entre conocimiento y aplicación, al exigir que las iniciativas se articulen en programas con lógica de portafolio, con roles de actores complementarios, y con una trayectoria explícita de maduración, en coherencia con los componentes micro del documento como la madurez tecnológica y social y la cadena de valor de la ciencia.

Alcance de la intervención.

La lógica de esta línea es conformar y sostener Programas de I + D + i entendidos como portafolios coherentes de iniciativas que comparten un propósito, una gobernanza y una ruta de resultados. La premisa, consistente con el marco teórico del documento, es que el conocimiento solo se convierte en valor público cuando existe una arquitectura que conecte tres planos a la vez. El plano macro define incentivos y condiciones generales. El plano meso organiza interacciones entre actores, reduce fallas de coordinación y permite aprendizaje colectivo. El plano micro gestiona la maduración de soluciones y su adopción. Esta línea interviene principalmente en el plano meso mediante arreglos de gobernanza y cooperación que reducen fallas de coordinación y sostienen portafolios colaborativos. A la vez incorpora desde el diseño condiciones del plano micro, asociadas a la maduración, validación y adopción de soluciones, para aumentar la probabilidad de resultados aplicables. Su contribución al plano macro ocurre de forma indirecta, al alinear la inversión con prioridades sectoriales y producir evidencia y capacidades instaladas que pueden informar ajustes posteriores de política en el nivel distrital.

Dado que el diagnóstico sugiere que la principal brecha no está en la ideación sino en la transición hacia validación y demostración, esta línea debería orientarse a capitalizar desarrollos que ya superaron fases tempranas de investigación y prueba de concepto y que, por tanto, se

ubican en niveles intermedios de madurez tecnológica. La apuesta debe ser acompañar trayectorias que suelen partir de TRL 3 o 4 y llevarlas hacia TRL 6 o 7, donde la solución ya puede demostrarse en entornos relevantes y en condiciones cercanas a la operación real. Este énfasis permitiría intervenir sobre un cuello de botella reconocido en el documento en el plano micro, la dificultad para financiar y gestionar el tránsito desde resultados promisorios en laboratorio hacia demostraciones en campo y validaciones preoperativas. Al cerrar esa brecha se incrementa la probabilidad de implementación de soluciones a escala real y se vuelve más verificable la contribución de la inversión en I + D + i a resultados de uso.

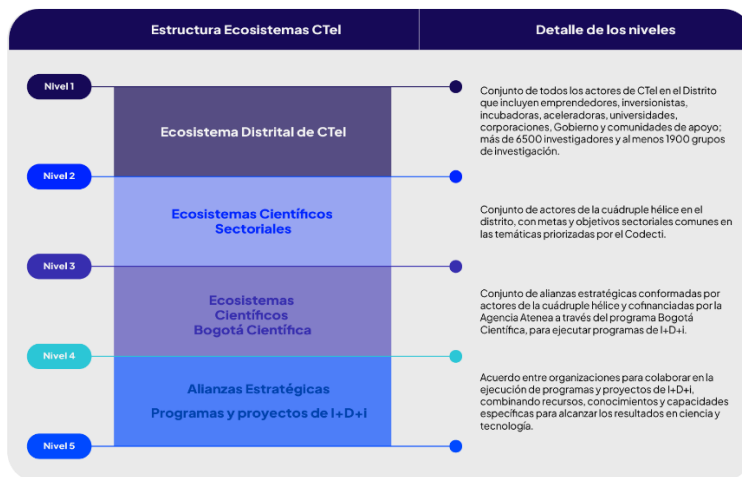
Esta línea no pretende modificar por sí sola los determinantes más macro del sistema, como los incentivos nacionales, la arquitectura regulatoria o las reglas presupuestales de gran escala, que exceden el control de un programa distrital. Sin embargo, reconoce que, cuando esos instrumentos no operan o resultan insuficientes, una apuesta territorial con recursos propios puede producir efectos sistémicos de facto al crear mecanismos complementarios de financiación, articulación y acompañamiento. En ese sentido, es una intervención territorial en su gobernanza y ejecución, con capacidad de incidir indirectamente sobre el funcionamiento agregado del sistema. Bogotá Científica debería actuar sobre un ecosistema localizado mediante instrumentos y capacidades del nivel distrital. Su teoría de cambio parte de que, cuando los incentivos nacionales no operan con la intensidad necesaria o no logran activar trayectorias de escalamiento, una intervención territorial puede cumplir una función de complemento operativo que reduce fallas de coordinación y habilita condiciones que el sistema no está proveyendo de forma efectiva. Por ello, los cambios esperados se explican por mecanismos activados en el territorio, como la articulación entre actores, la orientación de portafolios hacia retos priorizados y la habilitación de espacios de pilotaje, maduración y adopción de soluciones en entornos reales.

En contraste, las transformaciones del orden nacional, como los ajustes de arquitectura institucional, incentivos del sistema universitario y reglas presupuestales estructurales, operan como condiciones de contexto que inciden sobre el desempeño del ecosistema. Estas variables no son controlables por el programa en su dimensión normativa, pero sí pueden ser parcialmente moduladas en su funcionamiento efectivo mediante capacidades territoriales, en particular cuando existen vacíos o debilidades en los instrumentos nacionales. En ese sentido, instancias como Atenea permiten activar mecanismos complementarios de coordinación y financiación que alteran el contexto operativo en el que se desenvuelve el ecosistema.

En términos de la Estructura de los Ecosistemas Científicos para Bogotá definida por la Agencia Atenea (Figura 18), el programa se ubica en el nivel intermedio, donde es razonable esperar efectos directos. En términos operativos, se concentra en los niveles 3, 4 y 5, donde es posible estructurar alianzas estables, ordenar portafolios de I + D + i y gestionar resultados y aprendizajes. Los niveles 1 y 2 corresponden a condiciones estructurales y de gobernanza más amplias, cuya transformación requiere acumulación de evidencia, cambios de incentivos y coordinación multiescalar. La apuesta del programa es que, al consolidar ecosistemas en el nivel 3 y sostener dinámicas de colaboración y resultados en los niveles 4 y 5, se generan capacidades institucionales, referentes y aprendizajes que, con el tiempo, pueden informar y

empujar ajustes de mayor alcance. Arrancar en este nivel es una estrategia de evolución basada en crear primero los mecanismos meso y micro que hoy están débiles, para luego ampliar la ambición con evidencia, legitimidad y capacidades ya instaladas.

Figura 18. Niveles en la estructura de los Ecosistemas Científicos



Fuente. Gerencia de CTel - Agencia ATENEA

En coherencia con la estrategia de sostenibilidad del programa, y con el acompañamiento de Atenea como instancia articuladora, la expectativa es que durante la ejecución de los programas de I + D + i se amplíen los actores involucrados, se incorporen nuevos adoptantes y aliados estratégicos, y se movilicen fuentes adicionales de financiación. Esta expansión progresiva es parte del diseño, porque a medida que las soluciones avanzan en madurez aparecen requerimientos de validación en entorno real, integración regulatoria y operativa, capacidades de transferencia y canales de escalamiento que rara vez están completos en el punto de partida.

Condiciones para la implementación.

En coherencia con lo anterior, la efectividad de un Ecosistema Científico depende de cómo se diseña la arquitectura de coordinación que permite convertir capacidades dispersas en capacidades colectivas con resultados acumulables. El diagnóstico sugiere que este es un punto crítico. Aun con un volumen alto de actividad investigativa, una parte mayoritaria de los proyectos se ejecuta sin colaboración, y cuando existe colaboración, rara vez integra actores de hélices distintas. Este patrón es consistente con un ecosistema de baja densidad relacional, altos costos de coordinación y rutas débiles de adopción y escalamiento. En este marco, las siguientes características delimitan las condiciones mínimas para que los ecosistemas respondan a las barreras identificadas y, a la vez, aporten a la consolidación progresiva de un ecosistema de ciudad.

1. Gobernanza y gestión del portafolio orientadas al objetivo común. El ecosistema parte de un propósito técnico compartido, pero su efectividad depende de que ese propósito se mantenga como criterio rector a lo largo de la ejecución. Para ello, el portafolio debe

contar con una arquitectura de gobernanza que establezca reglas explícitas de priorización, asignación de roles y toma de decisiones, así como instancias periódicas de seguimiento que permitan ajustar el rumbo sin perder coherencia. Esta condición responde a la fragmentación y a la baja acumulación señaladas en el diagnóstico, porque reduce la dispersión temática, evita la duplicación de esfuerzos y orienta contribuciones complementarias hacia resultados acumulables. Además, fortalece la trazabilidad al definir hitos verificables y criterios de avance que trascienden productos académicos, conectando cada iniciativa con resultados de validación, adopción o uso, en línea con el enfoque del documento sobre cadenas de valor del conocimiento y maduración.

Adicionalmente, para cerrar la brecha de traducción entre investigación y aplicación, cada ecosistema debe formular una estrategia de maduración de alto nivel que conecte investigación con validación y uso. Esto implica declarar el punto de partida y el punto de llegada en términos de madurez tecnológica y, cuando corresponda, preparación social, definir hitos de validación en entornos relevantes, anticipar decisiones críticas y gestión del riesgo, y explicitar el mecanismo de llegada a adoptantes, ya sea sector productivo, entidades públicas o usuarios. En particular, se espera que la estrategia de maduración explicita cuando el portafolio parte de desarrollos en TRL 3 o 4 y cómo se orienta a alcanzar TRL 6 o 7 mediante demostraciones y validaciones en entornos relevantes, reduciendo el riesgo de estancamiento en el tramo intermedio que suele impedir la adopción y el escalamiento. Esta condición alinea el plano meso de coordinación con el plano micro de maduración descrito en el marco teórico, y hace verificable el tránsito entre conocimiento y aplicación.

2. *Integración de actores de la triple y cuádruple hélice con estructura inicial y posibilidad de ampliación.* El diagnóstico sugiere que la cooperación intersectorial es un cuello de botella. Por eso, el ecosistema debe partir de una configuración mínima funcional que reúna capacidades científicas, capacidades de implementación y condiciones de adopción. Esto implica integrar desde el diseño actores académicos, productivos y públicos, y vincular sociedad civil cuando la apropiación, la legitimidad o el cambio de comportamiento sean determinantes del impacto. Al mismo tiempo, la estructura debe permitir ampliar actores durante la ejecución. La razón es que, a medida que la solución madura, aparecen necesidades nuevas, acceso a entornos reales, requerimientos y capacidades regulatorias, transferencia tecnológica, canales de escalamiento o usuarios adoptantes (los sectores de IA y salud, son un ejemplo de ello). Un ecosistema rígido tiende a estancarse en fases intermedias y reproduce la brecha entre investigación e impacto.
3. *Institución de educación superior ancla con capacidades verificables.* Se sugiere que cada ecosistema cuente, como mínimo, con una IES ancla y un núcleo básico de actores aliados que aporten capacidades complementarias para la ejecución del programa. Esta estructura base puede ampliarse en función de la temática, el alcance y las necesidades de implementación. Dada la baja colaboración señalada por el diagnóstico, el rol de la

institución ancla debe garantizar densidad científica, coordinación interinstitucional y continuidad operativa del portafolio. Esto exige capacidades demostrables, no solo liderazgo administrativo. En ese sentido, la IES ancla debe acreditar masa crítica de investigación en la temática del ecosistema, experiencia reciente en ejecución de proyectos complejos y colaborativos, infraestructura científica y tecnológica pertinente, capacidades de gestión y rendición de cuentas en proyectos financiados con recursos públicos, y capacidades institucionales de relacionamiento y transferencia tecnológica, reflejadas en una trayectoria verificable en gestión de propiedad intelectual, licenciamiento, spin offs, acuerdos universidad empresa y transferencia al sector público, así como en mecanismos para gestionar resultados que exceden la publicación, como validaciones, prototipos, modelos de implementación o herramientas de adopción.

5.3.2. Retos de investigación.

La segunda línea del programa debe orientarse a Retos de Investigación e Innovación como un mecanismo de focalización y direccionamiento, diseñado para corregir una brecha que el diagnóstico hace explícita: el ecosistema cuenta con capacidades científicas relevantes, pero enfrenta dificultades para formular problemas con suficiente precisión, traducirlos en agendas de investigación aplicable y, sobre todo, convertir los resultados en mejoras observables de bienestar social. En la práctica, esta brecha se expresa cuando la inversión en CTel deriva en productos valiosos desde el punto de vista académico, pero con baja trazabilidad hacia cambios en servicios públicos, soluciones tecnológicas adoptadas, procesos productivos mejorados o intervenciones sociales implementadas. La línea de Retos responde a ese desajuste introduciendo una lógica de demanda explícita y una disciplina de resultados, donde el punto de partida no es la oferta de capacidades disponibles, sino un desafío priorizado cuya solución sea verificable en el corto plazo. Esto es consistente con el marco teórico que ha planteado este documento en dos sentidos. Primero, con el enfoque de innovación orientada a misiones, porque define una dirección y moviliza actores alrededor de un objetivo concreto sin predeterminedar una única solución. Segundo, con la innovación social y la noción de preparación social, porque reconoce que el impacto depende tanto de la calidad técnica de la solución como de su viabilidad institucional, su aceptación y su capacidad de ser incorporada en contextos reales.

Alcance de la intervención.

En términos de estrategia, la línea se materializa mediante la financiación de proyectos que se estructuran alrededor de retos formulados con entidades líderes del Distrito y alineados con los sectores priorizados por el CODECTI. Esta formulación conjunta convierte un problema público amplio en un reto abordable, con límites claros y criterios de éxito verificables. La lógica no es solo identificar temas, sino traducirlos en preguntas operables que permitan organizar un portafolio de proyectos con resultados comparables y con ruta de adopción definida. En consecuencia, la formulación de cada reto debe dejar explícito un liderazgo sectorial en cabeza de la entidad distrital responsable para priorizarlo y para habilitar condiciones de

implementación y uso. Por eso, el diseño de cada reto debe incorporar desde el inicio condiciones mínimas de implementación, tales como disponibilidad de insumos críticos, existencia de capacidades técnicas y científicas para ejecutarlo, y posibilidad real de probar la solución en un entorno pertinente, ya sea en un servicio público, un territorio o una cadena productiva.

Adicionalmente, estas condiciones deben verificarse ex ante mediante criterios técnicos mínimos, como disponibilidad y calidad de datos o información pertinente, plausibilidad de enfoques o tecnologías, capacidades para ejecutar y validar, y condiciones institucionales para realizar pruebas en entornos relevantes, con el fin de reducir el riesgo de financiar proyectos que produzcan resultados valiosos, pero sin una ruta operativa de adopción. Con ello, la línea busca acelerar el ciclo de aprendizaje del ecosistema, produciendo evidencia temprana de aplicación y adopción, y fortaleciendo la conexión entre ciencia, gestión pública y tejido productivo. El resultado esperado es que la inversión en CTel se traduzca en beneficios verificables para residentes de Bogotá y su área de influencia, no como efecto indirecto incierto, sino como un objetivo explícito que orienta la formulación, la ejecución y la evaluación de los proyectos financiados.

En términos de la Estructura de los Ecosistemas Científicos para Bogotá, esta línea se orienta principalmente a los niveles 4 y 5, en los que el foco ya no es solo la coordinación entre capacidades, sino la producción de evidencia temprana de resultados, demostración y adopción en condiciones reales. En estos niveles, el éxito del reto está en capacidad de materializar una solución que pueda probarse en un entorno pertinente y dejar una huella verificable, ya sea en un servicio público, un territorio o una cadena productiva, lo cual exige que desde la formulación cada reto incorpore una ruta explícita de uso. Esto contrasta con la línea de Ecosistemas Científicos, cuyo énfasis se ubica en el nivel 3 al consolidar arreglos de gobernanza y cooperación que permiten sostener portafolios colaborativos y acumular capacidades en el tiempo. En consecuencia, la línea de Retos opera con un horizonte más corto y acotado porque su función es orientar el diseño y la ejecución hacia demostraciones verificables y aprendizaje rápido, de modo que la adopción sea una posibilidad operativa respaldada por evidencia en plazos compatibles con la gestión pública y la toma de decisiones sectoriales.

Condiciones para la implementación.

En coherencia con lo anterior, los Retos de Investigación e Innovación requieren un diseño que asegure que el problema esté bien formulado, que existan condiciones mínimas para producir resultados utilizables y que la ejecución esté organizada para generar evidencia de aplicación y adopción en plazos cortos. Por ello, se recomienda que los retos incorporen las siguientes características.

1. Cofinanciación entre entidades del Distrito como mecanismo de gobernanza y apropiación. La cofinanciación cumple una función estructural en la línea de Retos porque alinea incentivos dentro del propio Distrito y convierte el reto en una agenda compartida. Además, tiene un efecto directo de articulación de la hélice gobierno a

escala distrital, en la medida en que introduce la CTel en las agendas de entidades diferentes a ATENEA y contribuye a fortalecer sus capacidades internas para formular, gobernar y gestionar instrumentos de ciencia, tecnología e innovación en sus sectores. La concurrencia presupuestal actúa como un mecanismo concreto de articulación, ya que obliga a definir responsabilidades, habilitar insumos y acordar criterios de éxito. Cuando varias entidades invierten y se comprometen, aumenta la probabilidad de que se habiliten datos, acceso a entornos reales, acompañamiento técnico y rutas de implementación. Además, fortalece la trazabilidad entre inversión en CTel y resultados públicos, porque el reto queda vinculado desde el inicio a decisiones de gestión, provisión de servicios o políticas sectoriales.

2. Horizonte de ejecución corto y acotado, orientado a demostración y aprendizaje. Los retos deben diseñarse con plazos limitados porque su función dentro del portafolio del programa es producir resultados demostrables en el corto plazo y acelerar el ciclo de aprendizaje del ecosistema. A diferencia de la línea de Ecosistemas Científicos, que busca acumulación de capacidades y coordinación de mediano plazo, la línea de Retos opera como un instrumento de focalización y evidencia temprana. Un horizonte acotado obliga a delimitar el problema, seleccionar soluciones factibles y concentrar esfuerzos en hitos de validación, demostración o implementación inicial. Esto reduce el riesgo de que los proyectos se orienten a productos académicos sin adopción y refuerza el plano micro de la maduración al privilegiar rutas de validación y uso sobre acumulación indefinida de resultados. También permite retroalimentación rápida para ajustar instrumentos, refinar agendas y escalar aprendizajes hacia ecosistemas de mayor duración.
3. Convocatorias bajo régimen de CTel con apertura a actores diversos. Se sugiere que la modalidad de convocatoria se diseñe bajo el régimen de CTel para ampliar el universo de ejecutores y evitar que la solución quede restringida a instituciones de educación superior. Esto se conecta con dos hallazgos del diagnóstico, la baja articulación entre hélices y la dificultad de convertir investigación en innovación aplicada. Al permitir la participación de empresas, emprendimientos de base científico tecnológica, centros de desarrollo tecnológico, organizaciones sociales y otros actores pertinentes, se incorporan capacidades que suelen ser críticas en retos de corto plazo, prototipado, validación en contexto real, escalamiento, implementación y apropiación. Esta apertura densifica relaciones entre actores, introduce criterios de viabilidad y uso desde el diseño, y fortalece mecanismos de absorción y adopción que son indispensables para que el reto produzca beneficios verificables en bienestar y desempeño sectorial.

5.3.3. Formación alto nivel

Como se vio en el diagnóstico, el talento humano es un habilitador transversal de la actividad científica y de la capacidad del ecosistema para traducir conocimiento en resultados aplicables. En ese marco, la tercera línea del programa se orienta a formación de alto nivel, es decir, al fortalecimiento de la investigación doctoral y posdoctoral, entendida como un habilitador crítico

para que Bogotá Científica pueda sostener, en el tiempo, las dos líneas anteriores. El diagnóstico muestra que la ciudad concentra una parte sustantiva de la formación de alto nivel del país, pero con dos rasgos que son relevantes para el diseño del programa. Por un lado, existe una concentración marcada de la matrícula en áreas como Ciencias de la educación y Ciencias sociales y humanas, lo que sugiere un desbalance frente a campos que suelen alimentar con mayor intensidad trayectorias de I + D + i orientadas a resultados tecnológicos y de innovación en sectores estratégicos. Por otro lado, se evidencia una baja inserción de doctores en el sector productivo, lo que ayuda a explicar por qué la masa crítica de formación no se traduce con la misma fuerza en transferencia y aplicación.

Alcance de la intervención.

En ese contexto, la línea se formula como un instrumento de focalización y pertinencia. Su propósito no es aumentar formación avanzada de manera indiferenciada, sino movilizar talento altamente calificado hacia áreas y temáticas priorizadas por la ciudad, de modo que la investigación doctoral y posdoctoral alimente portafolios de I + D + i con capacidad de maduración, validación y adopción. Dado el patrón de concentración de la matrícula en campos como Ciencias de la educación (23,4 por ciento) y Ciencias sociales y humanas (21,2 por ciento), la asignación de apoyos debe operar con una lógica selectiva que fortalezca capacidades escasas en sectores y apuestas definidas en la gobernanza territorial. En consecuencia, la financiación se justifica cuando la investigación se articula con problemas sectoriales concretos, presenta potencial de aplicación y cuenta con una ruta clara de incorporación en proyectos del programa. Para ello, el instrumento prevé apoyos y movilidad internacional con coautoría y articulación interinstitucional, como mecanismo para elevar la calidad y pertinencia de la investigación y acelerar la incorporación de capacidades de frontera en agendas conectadas con los retos de CTel del territorio.

Condiciones para la implementación.

A partir de lo anterior, la línea se implementa bajo los siguientes criterios que buscan corregir las brechas diagnosticadas y mantener coherencia con la lógica de ecosistemas y retos.

1. Movilidad internacional orientada a transferencia de capacidades y fortalecimiento de redes. La movilidad internacional se incorpora como un mecanismo para cerrar brechas de capacidades y acelerar trayectorias de investigación avanzada, no como un fin en sí mismo. El diagnóstico contextualiza que la formación doctoral en Colombia sigue siendo baja en comparación internacional, lo que refuerza la necesidad de conectar investigación local con redes, infraestructura y metodologías de frontera. En consecuencia, la movilidad se concibe como un instrumento para elevar calidad y pertinencia mediante codirecciones o coautorías, acceso a capacidades complementarias y transferencia de conocimiento hacia los proyectos del programa.
2. Pertinencia operativa mediante articulación con proyectos existentes y enfoque práctico. El diagnóstico identifica una baja inserción de doctores en el sector productivo,

un indicador de desconexión entre formación avanzada y aplicación. Para que la línea contribuya a cerrar esa brecha, los apoyos deben asignarse preferentemente a investigaciones que se inserten en proyectos existentes o en portafolios que ya tengan un problema definido, aliados y condiciones de validación. En la práctica, esto implica alinear tesis doctorales y estancias posdoctorales con agendas de los Ecosistemas Científicos y con los Retos de Investigación e Innovación, de manera que la formación funcione como habilitador directo de resultados aplicables, y no como un esfuerzo paralelo. Este criterio es el que permite que el capital humano fortalezca el plano micro del programa, aportando a maduración, validación y adopción, y que al mismo tiempo densifique el plano meso al insertarse en arreglos de cooperación estables.

6. Conclusiones y recomendaciones

El presente documento presenta un diagnóstico integral del ecosistema distrital de ciencia, tecnología e innovación y de las capacidades, brechas y potencialidades de los actores que lo componen. Los análisis muestran que Bogotá cuenta con una base relevante de capacidades científicas e institucionales en el contexto nacional, reflejada en su concentración de formación avanzada y en la presencia de instituciones de educación superior y grupos de investigación con trayectoria. Sin embargo, estas capacidades no se traducen de manera automática en impacto, pues el ecosistema sigue operando de forma fragmentada y con mecanismos limitados de articulación efectiva. Una proporción mayoritaria de proyectos se desarrolla sin colaboración y, cuando existe colaboración, la integración entre hélices es todavía reducida, lo que incrementa costos de coordinación y debilita la acumulación de capacidades aplicadas. A ello se suma una desalineación entre la estructura de la formación doctoral y posdoctoral y las apuestas sectoriales priorizadas, así como una baja inserción de doctores en el sector productivo, factores que restringen la traducción del conocimiento hacia innovación aplicada y transferencia. En consecuencia, el ecosistema aún no opera como un sistema integrado que oriente de forma sostenida la investigación hacia misiones comunes y hacia resultados verificables de desarrollo productivo y bienestar social para la ciudad.

El documento también revela que la estructura actual de incentivos, financiamiento y gestión de la investigación continúa concentrada en la producción académica y no logra generar suficientes condiciones para la transferencia tecnológica ni la innovación aplicada. Esta situación limita la conexión entre el conocimiento científico y las necesidades del territorio, en especial aquellas relacionadas con los retos urbanos, ambientales y sociales que enfrenta Bogotá. Asimismo, se identifica la necesidad de fortalecer la institucionalidad técnica, la interoperabilidad de la información y la sostenibilidad financiera de los programas, de modo que la política distrital de CTel trascienda los periodos administrativos y consolide un horizonte de largo plazo.

En conjunto, los hallazgos del DTS subrayan que Bogotá Científica constituye una oportunidad estratégica para articular actores, orientar recursos y dar coherencia al sistema distrital de CTel, siempre que su implementación evolucione hacia un modelo estable, territorial, con capacidad de aprendizaje institucional, y que derive en resultados concretos. A partir de estas

conclusiones, se presentan a continuación un conjunto de recomendaciones estratégicas que buscan fortalecer la operación, sostenibilidad e impacto del programa en los próximos años.

Tema	Recomendación
Orientación por misiones y banco distrital de retos	Consolidar una orientación más direccional del programa mediante misiones distritales o subdistritales de investigación e innovación, construidas a partir de prioridades del CODECTI y de problemas públicos verificables. Para sostener esa focalización en el tiempo, estructurar un banco distrital de retos como mecanismo permanente de identificación, depuración y priorización de desafíos con liderazgo sectorial, de modo que la inversión en I + D + i gane coherencia, comparabilidad y visibilidad de impacto.
Adopción, escalamiento y acompañamiento a comercialización	Incorporar un componente explícito de adopción y escalamiento que acompañe los resultados de ecosistemas y retos hasta su implementación en entornos reales, fortaleciendo rutas de transferencia tecnológica, valorización y, cuando aplique, comercialización. Esto implica articular pruebas en entorno operativo, usuarios adoptantes, demanda pública y privada, y capacidades de propiedad intelectual y modelos de negocio, para cerrar la brecha entre validación y uso y acelerar el tránsito hacia soluciones aplicadas a escala.
Capacidades y cierre de brecha oferta demanda de talento	Fortalecer la alineación entre la formación de alto nivel y las necesidades de ciudad, orientando becas, doctorados, posdoctorados y formación profesional hacia los planes distritales de I + D + i, los portafolios de ecosistemas y los retos priorizados. La recomendación es que los apoyos se vinculen a proyectos existentes con orientación práctica y rutas de adopción, y que se desarrollen trayectorias complementarias de talento aplicado, incluyendo perfiles técnicos y tecnológicos, para soportar prototipado, validación, implementación y operación de soluciones.
Sostenibilidad y gobernanza evolutiva del ecosistema	Asegurar que los ecosistemas continúen operando más allá del horizonte de financiación inicial mediante una estrategia de sostenibilidad que combine continuidad institucional, diversificación de fuentes y ampliación progresiva de miembros y capacidades. Además de gestionar recursos adicionales, se recomienda acompañar la incorporación de nuevos actores del ecosistema, incluidos corporativos, PyMEs, startups y entidades públicas, y fortalecer la articulación entre instrumentos del programa para sostener redes, aprendizaje y resultados acumulables en el tiempo, incluyendo una internacionalización con propósito cuando sea habilitante para la maduración.

7. Referencias

- Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE. (2022). *Encuesta de inversión en investigación y desarrollo (I+D) 2021*. Bogotá D.C. <https://www.dane.gov.co>
- Llanos-Paredes, P. (2023). The effect of applied research institutes on invention: Evidence from the Fraunhofer centres in Europe. *Research Evaluation Journal*, 32(3), 566. <https://doi.org/10.1093/reseval/rvad028>

- Mitra, A., & Niakaras, K. (2023). *The Horizon effect: A counterfactual analysis of EU Research & Innovation Grants*. Dirección General de Investigación e Innovación de la Comisión Europea. <https://doi.org/10.2777/584781>
- Ministerio de Hacienda y Crédito Público. (2021). *Presupuesto del Sistema General de Regalías 2021–2022*. https://www.minhacienda.gov.co/sgr/presupuesto-sgr/2021-2022/-/document_library/fwdd/view_file/1277123
- Guerrero, L.; León, A. (2008). Aproximación al concepto de salud. Revisión histórica. Fermentum. Revista Venezolana de Sociología y Antropología, 18(53). pp. 610-633.
- Colciencias. (2014). Obtenido de <http://www.colciencias.gov.co/sites/default/files/upload/paginas/generalidadesfctei-sgr-feb2014.pdf>
- Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación). (2025). *Presupuesto de Colciencias*. Recuperado de <https://Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación.gov.co/la-ciencia-en-cifras/presupuesto-colciencias>
- Fundación para el Futuro de Colombia (Colfuturo). (2025). *Anuario de seleccionados 2025: Los 108 becarios*. Recuperado de <https://servicios.colfuturo.org/apps/seleccionados2025/anuario/es/108/index.html>
- Contraloría General de la República. (2025). *Anteproyecto de Presupuesto de la Contraloría General de la República 2026*.
- Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación. (2023). Proyectos de I+D+i financiados por Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación. Recuperado el 2024, de La ciencia en cifras: <https://Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación.gov.co/la-ciencia-en-cifras/proyectos-idi-montos>
- Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología. (2025). *Inversión en CTI*. Recuperado el 14 de agosto de 2025, de <https://inversion.ocyt.org.co/>
- OECD. (2018). Manual de Frascati 2015: Guía para la recopilación y presentación de información sobre la investigación y el desarrollo experimental. OECD Publishing. Paris/FEYCT, Madrid. DOI: 10.1787/9789264310681-es.
- WHO. (2024). La OMS mantiene su firme compromiso con los principios establecidos en el preámbulo de la Constitución. Recuperado de <https://www.who.int/es/about/governance/constitution>
- Agencia Nacional del Espectro. (2024). *Espectro para el desarrollo de la Inteligencia Artificial (IA) en Colombia* (Versión 3, TRD 113.19.6). ANE. <https://www.ane.gov.co/Sliders/ANE%202025/Documento%20de%20diagnostico%20VF.pdf>
- Invest in Bogota. (2023). *Inteligencia artificial en Bogotá-Región: Actualidad entorno de negocios, segundo trimestre 2023* (Boletín No. 31). Invest in Bogota. <https://es.investinbogota.org/wp-content/uploads/2023/08/BEN-31-AI.pdf>
- Ladino Fernández, J. M., & Briceño Barrero, D. L. (2021). *Industria 4.0: el reto para las pymes manufactureras de Bogotá* (Trabajo de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas). Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- iNNpulsa Colombia, MinTIC, & MinComercio. (2020). *Transformación digital e industrias 4.0*. <https://innpulsacolombia.com>
- Naciones Unidas. (2024). *Gobernanza de la inteligencia artificial en beneficio de la humanidad: Informe final*. Órgano Asesor de Alto Nivel sobre Inteligencia Artificial.

https://www.un.org/sites/un2.un.org/files/governing_ai_for_humanity_final_report_es.pdf

- Departamento Nacional de Planeación. (2025). *Política Nacional de Inteligencia Artificial* (Documento CONPES 4144). Consejo Nacional de Política Económica y Social. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/4144.pdf>
- Fernández Juan. (2023). *La inteligencia artificial, la industria 4.0 y su impacto en el empleo en Colombia* [Trabajo de grado]. Fundación Universitaria del Área Andina.
- Naciones Unidas. (2022). *Industria 4.0 para el desarrollo inclusivo: Informe del Secretario General* (E/CN.16/2022/2). Comisión de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, Consejo Económico y Social. https://unctad.org/system/files/official-document/ecn162022d2_es.pdf
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2024). *AILA: Evaluación del panorama de la inteligencia artificial en Colombia*. PNUD Colombia. <https://www.undp.org/digital/aila>
- Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (2024). *Plan Estratégico de Tecnologías de la Información – PETI 2025–2027* (Versión 09, Código 4204000PL-043). <https://secretariageneral.gov.co>
- Mankins, J. 1995. Technology Readiness Levels—A White Paper. Washington, DC, USA: Advanced Concepts Office, Office of Space Access and Technology, National Aeronautics and Space Administration (NASA).
- Hausberg, J. P., and Korreck, S. (2020). Business incubators and accelerators: a co-citation analysis-based, systematic literature review. *Journal of Technology Transfer*, 40, 151–176
- Rifo, M., Salazar, J. M., & Leihy, P. (2024). GANADORES Y PERDEDORES: EL PROGRAMA DE MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD Y EQUIDAD DE LA EDUCACIÓN SUPERIOR CHILENA (1999-2013). *Calidad en la Educación*, (61), 253–289. <https://doi.org/10.31619/caledu.n61.1513>
- Salazar, J. M., Rifo, M., & Leihy, P. (2022). NPM of the masses: the expansion and modernisation in Chilean higher education, 1999–2016. *Policy Reviews in Higher Education*, 6(2), 153–177. <https://doi.org/10.1080/23322969.2022.2072380>
- Zuquette, R. D., Martins, B. V., Santini, M. A. F., Schaeffer, P. R., & Faccin, K. (2024). Acceleration as an ecosystem's unique mechanism: a systematic literature review and ecosystem acceleration model. *International Journal of Innovation and Learning*, 35(4), 431–458.
- Rata, S. F., Stanciu, M. L., Luchian, I., & Luchian, M. I. (2024). Fueling the Growth Engines: A Cross-Country Study on Business Accelerators' Role in Startup Sustainability. *Sustainability*, 16(24), 11049. Modelling the Innovation Value Chain
- Fransman, M., 2018. *Innovation Ecosystems: Increasing Competitiveness*. Cambridge University Press, New York, NY.
- Hughes, A., & Ulrichsen, T. (2019). *Value Chains, Systems Thinking and Science, Technology and Innovation Policy: Implications for place-based policy development in the UK A Critical Assessment*. University of Cambridge.
- Roper, S., Du, J., & Love, J. (2008). *Modelling the Innovation Value Chain*.
- OECD. (2021). *The role of innovation and human capital for the productivity of industries*. OECD Science, technology and industry policy papers.

https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2021/03/the-role-of-innovation-and-human-capital-for-the-productivity-of-industries_737ec506/197c6ae9-en.pdf

- Invest in Bogotá. (2025). *Talento TI 2025: Inversión, innovación y productividad*. <https://investinbogota.org>
- DNP. (14 de febrero de 2025). *Consejo Nacional de Política Económica y Social: Política nacional de inteligencia artificial*. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Económicos/4144.pdf>
- PwC. (2023). *Capacitar a los colaboradores a través de Realidad Virtual*. <https://www.pwc.com/co/es/pwc-insights/capacitar-colaboradores-realidad-virtual.html>
- Data Bridge Market Research. (2024). *Mercado global de realidad aumentada y realidad virtual: tendencias de la industria y pronóstico hasta 2031*. <https://www.databridgemarketresearch.com>
- OECD (2025), “Fostering research infrastructure ecosystems for addressing complex scientific and societal challenges”, *OECD Science, Technology and Industry Policy Papers*, No. 183, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/34797721-en>.
- WHO. (2024). La OMS mantiene su firme compromiso con los principios establecidos en el preámbulo de la Constitución. Recuperado de <https://www.who.int/es/about/governance/constitution>
- Guerrero, L.; León, A. (2008). Aproximación al concepto de salud. Revisión histórica. *Fermentum. Revista Venezolana de Sociología y Antropología*, 18(53). pp. 610-633.
- OECD. (2018). *Manual de Frascati 2015: Guía para la recopilación y presentación de información sobre la investigación y el desarrollo experimental*. OECD Publishing. Paris/FEYCT, Madrid. DOI: 10.1787/9789264310681-es.
- Dane (2022). *Clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las actividades económicas. Revisión 4 adaptada para Colombia*. Disponible en https://www.dane.gov.co/files/sen/nomenclatura/ciiu/CIIU_Rev_4_AC2022.pdf
- SaluData. (2022). *Mortalidad prematura por enfermedades crónicas general en personas de 30 a 70 años en Bogotá D.C. Tablero de Power BI*. <https://saludata.saludcapital.gov.co/osb/indicadores/mortalidad-enfermedades-cronicas/>
- Secretaría Distrital de Planeación. (2024). *Bogotá Camina Segura: Plan Distrital de Desarrollo 2024-2027*. https://www.sdp.gov.co/sites/default/files/libro_pdd_bogota_camina_segura_2024-2027.pdf
- Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación. (2021). *La ciencia en cifras: grupos de investigación reconocidos*. Tablero de Power BI. <https://Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación.gov.co/la-ciencia-en-cifras/grupos>
- Agencia distrital para la educación superior, la ciencia y la tecnología (ATENEA). (2025). *Plan I+D+i 2030: Ciencias de la salud*. (Borrador no circular, documento interno). No publicado.

- UNESCO. (2010). Políticas para la creatividad. Guía para el desarrollo de las industrias culturales y creativas. Argentina. Recuperado de <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000220384>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2023). Cuenta Satélite de Economía Cultural y Creativa (CSECC). <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-portema/cuentas-nacionales/cuentas-satelite/cuenta-satelite-de-cultura-en-colombia>
- Agencia distrital para la educación superior, la ciencia y la tecnología (ATENEA). (2025). Plan I+D+i 2030: Industrias creativas y culturales. (Borrador no circular, documento interno). No publicado.
- Minatta, A., & Basani, M. (2022). *Ecosistema de innovación en el sector Agua, saneamiento y residuos sólidos de América Latina y el Caribe Relevamiento y modelo de vinculación* (Nota técnica del BID; 2565). Banco Interamericano de Desarrollo.
- Geldes, C. (2023). El desafío de la innovación colaborativa: El caso de la agricultura inteligente y de precisión en el sector lechero en Chile. *Gestión y Tendencias*.
- Roa, V., González, J., & Torres, J. (2017). How to improve collaboration between industry, government and universities to face industry challenges: the case of the Chilean Mining Programme 'Alta Ley'. *Revista ESPACIOS*, 38(47), 31.
- de la Llera, J. C., Rivera, F., Gil, M., & Schwarzhaupt, Ú. (2018, junio). *Mitigating risk through R&D+Innovation: Chile's national strategy for disaster resilience*. 16th European Conference on Earthquake Engineering (16ECEE), Thessaloniki, Grecia.
- Gil, M., & Rivera, F. (2022). Strengthening the role of science and technology in disaster risk reduction: the Chilean strategy. *Disasters*, 46(1), 104–122.
- Comisión Nacional de Investigación, Desarrollo e Innovación para la Resiliencia ante Desastres (CREDEN). (2016). *Hacia Un Chile Resiliente Frente a Desastres: Una Oportunidad – Estrategia Nacional de Investigación, Desarrollo e Innovación para la Resiliencia ante Desastres* [En español]. Publicado por Consejo Nacional de Innovación para el Desarrollo (CNID). Recuperado de <http://www.cnid.cl/wp-content/uploads/2016/12/CREDEN-27122016-2.pdf>
- Gil, M., & Rivera, F. (2022). Strengthening the role of science and technology in disaster risk reduction: the Chilean strategy. *Disasters*, 46(1), 104–122.
- Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (CONICYT). (2016). *Primer concurso de investigación tecnológica temático en minería*. FONDEF CONICYT. Recuperado de <http://www.conicyt.cl/fondef/2016/05/23/primer-concurso-de-investigacion-tecnologica-tematico-en-mineria/>
- Guevara Pezoa, F. (2023). Educación técnico-profesional: En rumbo a transformarse en actor clave para el ecosistema de innovación chileno. *RUMBOS TS*, XVIII(29), 31–46.
- Crespi, G., Figal Garone, L., Maffioli, A., & Stein, E. H. (2019). *Innovation, productivity, and spillovers effects: Evidence from Chile* (IDB Working Paper Series, No. IDB-WP-963). Inter-American Development Bank.
- Gonçalves, D. B. (2022). Um estudo sobre as relações entre universidade, empresa e governo em um parque tecnológico universitário no interior do estado de São Paulo. *Educationis*, 10(1), 14–25. <https://doi.org/10.6008/CBPC2318-3047.2022.001.0002>
- Maritan, F. B., Soliani, R. D., Ferreira Junior, G. C., Satrapa, H. F. M., & Florentino, M. M. G. (2024). Regional development through innovation: a proposal for a technological hub

framework. *Revista Gestão e Secretariado (GeSec)*.
<https://doi.org/10.7769/gesec.v15i10.4255>

- Miranda, D. P. S., Santos, F. S., Lima, R. R. P., Néto, A. T. S., & Russo, S. L. (2017). Propriedade intelectual no Brasil: Evolução e impacto dos núcleos de inovação tecnológica. *Proceeding of ISTI*, 8(1), 370–379.
- Leydesdorff, L., & Etzkowitz, H. (1998). The triple helix as a model for innovation studies. *Science and Public Policy*, 25(3), 195–203.
- Passos, C. A. S., Terra, B. R. C., Furtado, A. T., Vedovello, C., & Plonski, G. A. (2004). Improving university-industry partnership – the Brazilian experience through the scientific and technological development support program (PADCT III). *International Journal of Technology Management*, 27(5), 475–487. <https://doi.org/10.1504/IJTM.2004.004284>
- Santos, G. F., & Salles-Filho, S. L. M. (2024). O impacto científico das produções acadêmicas geradas por colaboração universidade-indústria: o caso da Embrapii. <https://doi.org/10.22477/ix.ebbc.251>
- Santos, M. S., & Pinheiro, I. A. (2011). Governo — um aliado nem sempre lembrado pelas empresas na hora de desenvolver as atividades de P&D. *Revista de Administração Pública*, 45(5), 1463–1483.
- Stal, E., & Fujino, A. (2005). As relações universidade-empresa no Brasil sob a ótica da Lei de Inovação. *Revista de Administração e Inovação*, 2(1), 5–19.
- Yun, J. J., & Liu, Z. (2019). Micro- and Macro-Dynamics of Open Innovation with a Quadruple-Helix Model. *Sustainability*, 11(12), 3301
- Beltrán Ibarra, A. P., & Lagarda Leyva, E. A. (2015). Propuesta de un modelo de vinculación para una universidad basada en la triple hélice. *Revista Global de Negocios*, 3(6), 45-62.
- Hinojosa Rivera, M., Leduc Lezama, L., & Cázares Yeverino, J. A. (2016). *Experiencias de vinculación academia-industria adoptando la filosofía de la triple hélice*. [Artículo].
- Innovations for Successful Societies. (2015). *Fostering an innovation economy: Launching a technology park, Mexico, 2004–2010*. Princeton University.
- Molina, A., & Romero, D. (2013). *(University) Technology Parks Toolkit: Knowledge Transfer and Innovation - The Tecnológico de Monterrey Experience*. Tecnológico de Monterrey.
- Tedesco, M. S. (2022). *How and why to study collaboration at the level of economic ecosystems*. MIT D-Lab.
- Tedesco, M. S., & Serrano, T. (2019). *Roles, valores y dinámicas sociales: Una nueva aproximación para describir y entender ecosistemas económicos*. MIT D-Lab.
- Secretaría Distrital de Desarrollo Económico. (2025). *Bogotá en Cifras: Edición 2025*. Alcaldía Mayor de Bogotá. Recuperado de <https://bogota.gov.co/mi-ciudad/desarrollo-economico/bogota-en-cifras-edicion-2025-el-informe-de-datos-de-economia-local>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE. (2023). *Boletín técnico: Encuesta de Desarrollo e Innovación Tecnológica en los sectores de Servicios y Comercio (EDITS VIII), 2020–2021*. DANE. <https://www.dane.gov.co>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE. (2021). *Boletín técnico: Encuesta de Desarrollo e Innovación Tecnológica en la Industria Manufacturera (EDIT X), 2019–2020*. DANE. <https://www.dane.gov.co>

- Secretaría Distrital de Ambiente. (2025). *Emisiones totales de gases de efecto invernadero*. Observatorio Ambiental de Bogotá. <https://oab.ambientebogota.gov.co/emisiones-totales-de-gases-de-efecto-invernadero/>
- CEMPRE. (2025). *El pulso de la economía circular en Colombia*. Bogotá: Compromiso Empresarial para la Economía Circular.
- PNUMA. (2024). *Panorama de los recursos globales*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2021). *Economía circular en América Latina y el Caribe: oportunidad para una recuperación transformadora*. De Miguel, C., Martínez, K., Pereira, M., & Kohout, M.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2023). *Modelamiento de los efectos macroeconómicos de la transición a la economía circular en América Latina: Los casos de Chile, Colombia, México y el Perú*. Rodríguez, J., et al.
- OMPI. (2023). PATENTSCOPE. Recuperado el 2024, de <https://patentscope.wipo.int/search/es/search.jsf>
- Bunge, M. (1960). *La ciencia, su método y su filosofía*. Buenos Aires: Siglo Veinte.
- UNESCO. (2021). *Recomendación sobre la Ciencia Abierta*. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000379949_spa
- OECD. (2023). *Education at a Glance 2023: Sources, Methodologies and Technical Notes*. Organisation for Economic Co-operation and Development. https://www.oecd.org/en/publications/education-at-a-glance-2023-sources-methodologies-and-technical-notes_d7f76adc-en.html
- Departamento Nacional de Planeación. (2021). *Documento CONPES 4069: Política Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación 2022–2031*. Consejo Nacional de Política Económica y Social. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/4069.pdf> [\[colaboracion.dnp.gov.co\]](https://colaboracion.dnp.gov.co)
- Núñez, J., et al. (2022). *Evaluación de impacto del programa de créditos condonables de doctorado*. Fedesarrollo.
- Cantù, C., Corsaro, D. & Tunisini, A. (2015). Editorial - Organizing for innovation networks. *Journal Of Business & Industrial Marketing*, Vol. 30 Issue 3/4.
- Oh, D. S., Phillips, F., Park, S., & Lee, E. (2016). Innovation ecosystems: A critical examination. *Technovation*, 54, 1-6.
- Alcaldía Mayor de Bogotá. (2024). *Cómo transformar una ciudad para las mujeres*. Manzanas del Cuidado. <https://manzanasdelcuidado.gov.co/wp-content/uploads/2024/01/libro-manzanas-del-cuidado-una-ciudad-para-las-mujeres.pdf>
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2023). *Políticas de salud urbana y cuidado comunitario en ciudades latinoamericanas*.
- Bogotá.gov.co. (2024). *Sistema Distrital de Cuidado en Bogotá*. <https://bogota.gov.co/mi-ciudad/mujer/sistema-distrital-de-cuidado-en-bogota-sitio-web>

- Bogotá.gov.co. (2023). *Revitalización de 9.000 m² de espacio público del parque El Arado*. <https://bogota.gov.co/mi-ciudad/gobierno/revitalizacion-de-9000-m2-de-espacio-publico-del-parque-el-arado>
- DADEP. (2023). *La innovación social abierta: la gran apuesta con la que se revitalizaron más de 9 mil m² de entornos en el Mes del Espacio Público*. <https://www.dadep.gov.co/noticias/la-innovacion-social-abierta-la-gran-apuesta-con-la-que-se-revitalizaron-mas-de-9-mil-m2-de-entornos-en-el-mes-del-espacio-publico>
- Bogotá.gov.co. (2025). *Historia de La Rolita, Operadora Distrital de Transporte de Bogotá*. <https://bogota.gov.co/mi-ciudad/movilidad/historia-de-la-rolita-operadora-distrital-de-transporte-de-bogota>
- SaluData. (2023). *Observatorio de Salud de Bogotá*. <https://saludata.saludcapital.gov.co/osb/>
- Agencia Ágata. (2023). *Así es como Bogotá está usando la inteligencia artificial para mejorar la movilidad, educación y empleo*. <https://agatadata.com/asi-es-como-bogota-esta-usando-la-inteligencia-artificial-para-mejorar-la-movilidad-educacion-y-empleo/>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2025). *Boletín técnico: Productividad Total de los Factores (PTF) 2024pr*. <https://www.dane.gov.co/files/operaciones/PTF/bol-PTF-2024.pdf>
- Romer, P. M. (1990). Endogenous technological change. *Journal of Political Economy*, 98(5, Part 2), S71–S102.
- Lucas, R. E., Jr. (1988). On the mechanics of economic development. *Journal of Monetary Economics*, 22(1), 3–42.
- Nelson, R. R., & Winter, S. G. (1982). *An evolutionary theory of economic change*. The Belknap Press of Harvard University Press.
- Lundvall, B.A. (1992) *National Systems of Innovation: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning*. Pinter Publishers, London.
- Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of innovations* (5th ed.). New York: Free Press.
- Hall, B., & Khan, B. (2003). *Adoption of new technology*. Working Paper 9730. National bureau of economic research.
- Romer, P. M. (1986). Increasing returns and long-run growth. *Journal of Political Economy*.
- Freeman, C. (1987). *Technology policy and economic performance: Lessons from Japan*. Pinter Publishers.
- Freeman, C. (1995). The national system of innovation in historical perspective. *Cambridge Journal of Economics*, 19(1), 5–24.
- Nelson, R. R. (Ed.). (1993). *National innovation systems: A comparative analysis*. Oxford University Press.
- Clark, B.R. (1998) *Creating Entrepreneurial Universities: Organizational Pathways of Transformation*. IUA Press & Pergamon, Paris.
- Gibbons, M. et al. (1994). *La nueva producción del conocimiento*. Barcelona: Pomares, corredor.
- European Association of Research and Technology Organisations (EARTO). (2014). *The TRL scale as a research & innovation policy tool: EARTO recommendations*.

- Hausberg, J. P., and Korreck, S. (2020). Business incubators and accelerators: a co-citation analysis-based, systematic literature review. *Journal of Technology Transfer*, 40, 151–176.
- Zuquetto, R. D., Martins, B. V., Santini, M. A. F., Schaeffer, P. R., & Faccin, K. (2024). Acceleration as an ecosystem's unique mechanism: a systematic literature review and ecosystem acceleration model. *International Journal of Innovation and Learning*, 35(4), 431–458.
- OECD & European Commission. (2019). Policy Brief on Incubators and Accelerators that Support Inclusive Entrepreneurship.
https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2019/05/policy-brief-on-incubators-and-accelerators-that-support-inclusive-entrepreneurship_b95cd664/d7d81c23-en.pdf
- Keeney, R. L., & Raiffa, H. (1993). *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs*. Cambridge University Press.
- Cooper, R. G. (2015). *Winning at New Products: Creating Value Through Innovation* (4th ed.). Basic Books.
- Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications: A State-of-the-Art Survey*. Springer-Verlag.
- Clemen, R. T., & Reilly, T. (2013). *Making Hard Decisions with DecisionTools* (3rd ed.). Cengage Learning.
- Cooper, R. G., Edgett, S. J., & Kleinschmidt, E. J. (2001). *Portfolio Management for New Products* (2nd ed.). Basic Books.
- Cooper, R. G., & Sommer, A. F. (2018). Agile–Stage–Gate for Manufacturers: Changing the Way New Products Are Developed. *Research-Technology Management*, 61(2), 17–26. <https://doi.org/10.1080/08956308.2018.1421380>
- Rogers, E. M. (1962). *Diffusion of innovations*. New York: Free Press.
- Secretaría Distrital de Planeación. (2019). *Documento CONPES 04: Política Pública de Ciencia, Tecnología e Innovación 2019–2038*. Consejo Nacional de Política Económica y Social. https://www.sdp.gov.co/sites/default/files/documentoconpes_04.pdf
- Secretaría Distrital de Planeación. (2023). *Documento CONPES 25: Actualización del Plan de Acción de la Política Pública de Productividad, Competitividad y Desarrollo Socioeconómico 2011-2038*. Consejo Nacional de Política Económica y Social. https://www.sdp.gov.co/sites/default/files/doc_conpes_d.c. 25_pp_productividad_y_competitividad_dc.pdf
- UNESCO. (2006). *Technology business incubation: A toolkit on innovation in engineering, science and technology*.
<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000143008>
- Foray, D. (2004). *The economics of knowledge*. MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/6285.001.0001>
- David, P. A., & Foray, D. (2002). Fundamentos económicos de la sociedad del conocimiento. *Comercio Exterior*, 52(6). http://fcaenlinea.unam.mx/anexos/1141/1141_u5_act3.pdf
- Romer, P. M. (1990). Endogenous Technological Change. *Journal of Political Economy*, 98(5), S71–S102. <http://www.jstor.org/stable/2937632>

- Secretaría Distrital de Gobierno. (2025). *Red Innova Local: Innovación pública desde lo local*. Recuperado de <https://www.gobiernobogota.gov.co>
- GOLAB. (2025). *Laboratorio de Innovación Pública*. Recuperado de <https://www.gobiernobogota.gov.co/golab>
- BibloRed. (2025). *Sala LabCo: un espacio para la creatividad*. Recuperado de <https://www.biblored.gov.co/Sala-Labco>
- Secretaría de Cultura, Recreación y Deporte. (2025). *Ciencia, comunidad y cocina: así son las Salas LabCo de BibloRed*. Recuperado de <https://www.culturarecreacionydeporte.gov.co/es/principal/noticias/ciencia-comunidad-y-cocina-asi-son-las-salas-labco-de-biblored>
- Breschi, S., Malerba, F. (1997). Sectoral innovation systems: technological regimes, Schumpeterian dynamics, and spatial boundaries. In: Edquist, Charles (Ed.), *Systems of Innovation: Technologies, Institutions and Organizations*. Routledge, pp. 130–156.
- República de Colombia. (2021). *Decreto 1666 de 2021: Por el cual se modifica el Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SNCTI)*. Diario Oficial, No. 51.880. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=173951
- Granstrand, O., & Holgersson, M. (2020). *Innovation ecosystems: A conceptual review and a new definition*. *Technovation*, 90-91, 102098. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2019.102098>
- Departamento Nacional de Planeación (DNP) & Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología (OCyT). (2023). *Índice Departamental de Innovación para Colombia (IDIC) 2022*. Bogotá, Colombia. Recuperado de <https://www.dnp.gov.co>