

Medellín está

UNA CIUDAD QUE GENERA, APROPIA Y TRANSFIERE CONOCIMIENTO

Diagnóstico de la Transferencia de Conocimiento en el Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín

20
26

AUTORES

NINI JOHANNA RAMÍREZ RAMÍREZ
Ingeniera Agroindustrial - MSc en Gestión
de la Innovación Empresarial

GERMÁN TABARES POZOS
Economista - MSc y Ph.D en Economía

COLABORADORES

JESÚS FERNANDO FLÓREZ HERRERA
Economista - M.Sc. En Economía

LUIS MIGUEL GARCÍA PULGARÍN
Economista - M.Sc. En Economía

MIGUEL MANZUR GÓMEZ
Ingeniero matemático - Economista

Tecnnova 

SAPIENCIA
Agencia de Educación
Postsecundaria de Medellín


Alcaldía de Medellín
Distrito de
Ciencia, Tecnología e Innovación

Contenido

Resumen ejecutivo	3
Introducción	4
1. Mapeo y caracterización de actores	7
2. Estrategia metodológica	14
3. Aprendizajes de los ejercicios que ya han abordado esta cuestión	17
3.1 Marco institucional, política pública y actores del sistema	17
3.2 Capacidades del ecosistema, habilitadores y resultados	18
3.3 Emprendimiento, inversión y tejido empresarial	18
3.4 Talento humano y capacidades para adoptar conocimiento	19
3.5 Síntesis de la revisión documental	20
4. Lo que revelan los principales indicadores del ecosistema	21
4.1 Talento	22
4.2 Ciencia	46
4.3 Tecnología	62
4.4 Innovación	71
4.5 Apropiación social del conocimiento	82
4.6 Medellín en la cadena de transferencia	95
5. Explorando a profundidad las capacidades y percepciones de los principales actores del sistema	96
5.1 Naturaleza jurídica y actividad económica	96
5.2 Distribución territorial de los actores	97
5.3 Tipología de actores por territorio	98
5.4 Capital humano y físico del ecosistema CTI	99
6. Implicaciones del diagnóstico para la transferencia de conocimiento en Medellín	108
6.1 De la capacidad instalada a la conversión de valor	109
6.2 El talento como condición habilitante	110
6.3 Atraer, retener y actualizar talento	110
6.4 Capacidades de absorción en empresas, Estado y sociedad	111
6.5 Investigación aplicada y vocaciones estratégicas	112
6.6 Articulación orientada por retos	112
6.7 Medición para aprender y ajustar	113
6.8 Síntesis	113
7. Referencias	119

Resumen ejecutivo

Medellín cuenta con uno de los ecosistemas de ciencia, tecnología e innovación (CTI) más consolidados del país. La ciudad ha logrado construir capacidades significativas en formación de talento, investigación científica, desarrollo tecnológico, innovación empresarial y apropiación social del conocimiento. Sin embargo, el principal desafío ya no consiste en seguir acumulando capacidades, sino en asegurar que estas se traduzcan efectivamente en soluciones adoptadas por empresas, entidades públicas, organizaciones sociales y territorios.

Con el objetivo de comprender este reto, el presente diagnóstico analizó el estado de la transferencia de conocimiento en el Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín mediante una estrategia que combinó revisión documental, análisis de información secundaria y consulta con actores del ecosistema. El análisis se desarrolló desde una perspectiva sistémica, entendiendo la transferencia como el conjunto de procesos que permiten que el conocimiento genere valor económico, social y público a través de su adopción y uso.

Los resultados muestran que Medellín dispone de una sólida base de capacidades. La ciudad presenta fortalezas en educación superior, investigación científica, emprendimiento innovador, infraestructura tecnológica y apropiación social del conocimiento. Medellín se destaca por la calidad de su producción científica, una elevada intensidad innovadora y una amplia trayectoria en programas de cultura científica y participación ciudadana.

No obstante, el diagnóstico evidencia que persisten dificultades para transformar estas capacidades en resultados de mayor escala e impacto. Se identifican desafíos relacionados con la pertinencia y disponibilidad de talento en áreas estratégicas, la capacidad de empresas y organizaciones para absorber conocimiento

externo, la maduración y validación de desarrollos tecnológicos, y la articulación efectiva entre actores para convertir capacidades existentes en soluciones implementadas. A partir de estos hallazgos, se priorizan cuatro brechas estratégicas para el fortalecimiento de la transferencia de conocimiento en Medellín:

1. **Brecha de talento:** necesidad de ampliar, diversificar y actualizar capacidades humanas en áreas estratégicas para el desarrollo económico y social.
2. **Brecha de absorción:** fortalecimiento de las capacidades de empresas, entidades públicas y organizaciones sociales para identificar necesidades, adoptar soluciones y aprovechar el conocimiento disponible.
3. **Brecha de maduración y transferencia aplicada:** reducción de las barreras que dificultan el paso desde la investigación y los prototipos hacia la validación, adopción, escalamiento y uso efectivo de soluciones.
4. **Brecha de articulación y medición:** consolidación de mecanismos de coordinación, ejecución, seguimiento y evaluación orientados a resultados e impactos.

En síntesis, Medellín ha avanzado en capacidades científicas, tecnológicas o institucionales. El reto central consiste en fortalecer las condiciones que permitan convertir esas capacidades en soluciones efectivamente adoptadas, generando valor para las empresas, las entidades públicas, las comunidades y los territorios. La consolidación del Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación dependerá, en gran medida, de su capacidad para cerrar esta brecha entre conocimiento disponible y conocimiento utilizado.

Introducción

El conocimiento se ha convertido en uno de los principales motores del desarrollo económico, la transformación productiva y la mejora de la calidad de vida. En un contexto marcado por cambios tecnológicos acelerados, nuevas formas de producción y desafíos sociales y ambientales cada vez más complejos, la capacidad de generar, adaptar, usar y apropiarse conocimiento define en buena medida las posibilidades de los territorios para elevar su productividad, ampliar oportunidades, mejorar el bienestar de su población y responder de manera más efectiva a sus problemas públicos. Sin embargo, el conocimiento no genera valor por el solo hecho de existir. Su potencial transformador depende de que circule entre actores, se conecte con necesidades concretas, sea adoptado por empresas, instituciones, comunidades y gobiernos, y logre traducirse en soluciones efectivas para el territorio (Audretsch & Belitski, 2020; Bloom et al., 2020).

Medellín ha acumulado durante las últimas décadas capacidades importantes en ciencia, tecnología e innovación (CTI). La ciudad cuenta con universidades, grupos de investigación, centros de desarrollo tecnológico, empresas, instituciones puente, clústeres, espacios de articulación público-privada y una institucionalidad que se ha fortalecido con su declaratoria como Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación. Este punto de partida es relevante, pero no suficiente. El reto central no consiste únicamente en reconocer que estas capacidades existen, sino en entender

hasta qué punto logran convertirse en transformaciones concretas para el territorio.

En ese orden de ideas, este diagnóstico parte de una premisa: Medellín no enfrenta simplemente un problema de ausencia de capacidades, sino una brecha de conversión. La ciudad produce conocimiento, forma talento, protege desarrollos tecnológicos, cuenta con empresas innovadoras y dispone de actores institucionales especializados; no obstante, la transferencia de conocimiento depende de que esos activos se conecten con demandas reales, pasen por procesos de maduración, encuentren usuarios, sean adoptados, escalados y evaluados. En otras palabras, la pregunta estratégica no es solamente qué sabe o qué produce el ecosistema, sino qué logra transformar con aquello que sabe.

La transferencia de conocimiento debe entenderse, por tanto, como un problema complejo, no como una relación lineal entre quienes producen conocimiento y quienes lo reciben. Del lado de la oferta, el ecosistema necesita fortalecer sus capacidades de investigación aplicada, formación de talento, maduración tecnológica, intermediación, apropiación social y conexión con usuarios. Del lado de la demanda, el sector privado, el sector público, las comunidades y los territorios deben contar con incentivos, información, recursos y capacidades para identificar problemas, buscar soluciones basadas en conocimiento, adoptarlas y sostenerlas en el tiempo. Entre ambos lados se ubican las políticas públicas y

los actores de intermediación, cuya función es crear condiciones habilitantes para que oferta y demanda se encuentren, se coordinen y produzcan resultados efectivos.

Esta situación refleja una paradoja más general del desarrollo basado en conocimiento. Los países y territorios que más podrían beneficiarse de la innovación, la adopción tecnológica y la transferencia de conocimiento no siempre logran aprovechar plenamente esas oportunidades. Aunque el uso de tecnologías y conocimientos existentes podría generar ganancias importantes de productividad, muchas economías en desarrollo enfrentan restricciones para convertir ese potencial en mejoras efectivas. Estas restricciones no se explican solo por falta de recursos, sino también por debilidades en capacidades empresariales, calidad gerencial, instituciones, coordinación e instrumentos de política ajustados a las capacidades reales de los actores (Cirera & Maloney, 2017). Para Medellín, esta perspectiva implica que la transferencia no puede atribuirse únicamente a una insuficiente producción científica ni exclusivamente a una baja demanda empresarial. La brecha se ubica, sobre todo, en la conexión entre conocimiento disponible, capacidades de absorción, mecanismos de intermediación y condiciones para su uso.

El Diagnóstico de la transferencia de conocimiento en el Distrito especial de ciencia, tecnología e innovación de Medellín, muestra que Medellín cuenta con una base sólida de capacidades en CTI, reflejada en la formación de talento, la producción científica, la actividad tecnológica, el emprendimiento innovador y la apropiación social del conocimiento. Sin embargo, el principal desafío no radica solo en generar estas capacidades, sino en convertir dichas capacidades de manera sistemática en valor económico, social, público y territorial. La ciudad presenta fortalezas importantes en los insumos y productos de la cadena de transferencia, pero enfrenta mayores dificultades para traducirlos en adopción, productividad, soluciones escalables e impactos observables. Los principales hallazgos

del documento se concentran en cinco ámbitos. En talento, el principal reto es recuperar la senda de crecimiento de la formación postsecundaria para fortalecer la masa crítica del ecosistema y asegurar la disponibilidad de capacidades para el desarrollo científico, tecnológico y de innovación. A ello se suma la necesidad de mejorar la pertinencia de la formación y ampliar la participación en áreas STEM/STEAM, pese a los buenos desempeños académicos de la ciudad y su capacidad para atraer estudiantes. En investigación, Antioquia destaca por la calidad de su producción científica y por su especialización en áreas con alto potencial de transferencia, aunque estas capacidades continúan concentradas en un número limitado de actores y campos de conocimiento. En tecnología, existe un cuello de botella entre la generación de desarrollos y su validación, adopción y llegada al mercado. En innovación, el ecosistema muestra dinamismo e intensidad, pero enfrenta limitaciones para escalar, internacionalizar y conectar soluciones con la demanda empresarial, pública y social. Finalmente, aunque la apropiación social del conocimiento es amplia, aún requiere fortalecer mecanismos de participación, uso y generación de impactos concretos en comunidades, organizaciones y territorios.

A partir de estos hallazgos, el diagnóstico prioriza cuatro brechas transversales. La primera es la brecha de talento, asociada a la necesidad de ampliar, diversificar y actualizar capacidades humanas en áreas estratégicas, con énfasis en STEM/STEAM, ciencias básicas, tecnologías digitales, salud, sostenibilidad, energía, industrias creativas y perfiles puente. La segunda es la brecha de absorción, relacionada con las capacidades gerenciales, técnicas, digitales, financieras y organizacionales que requieren empresas, entidades públicas y organizaciones sociales para identificar problemas, formular retos, adoptar soluciones y sostener procesos de innovación. La tercera es la brecha de maduración y transferencia aplicada, expresada en la dificultad para pasar de investigación,

prototipos, patentes o desarrollos tecnológicos hacia validación, adopción, licenciamiento, compra, escalamiento y uso. La cuarta es la brecha de articulación y medición, que se manifiesta en la necesidad de pasar de espacios de coordinación a mecanismos de ejecución, portafolios de retos, roles definidos, trazabilidad de resultados y sistemas de información orientados a outcomes e impactos.

Estas brechas son retomadas por los productos derivados del diagnóstico. Plan de fortalecimiento de capacidades y desarrollo de talento para vocaciones estratégicas en el Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación (CTI) de Medellín responde a los hallazgos sobre formación, atracción, retención, actualización, pertinencia, vocaciones STEM/STEAM, brechas de género y aprendizaje a lo largo de la vida. La Guía metodológica de proyectos de investigación aplicada y desarrollo experimental en el Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación (CTI) de Medellín traduce los hallazgos sobre investigación, tecnología y transferencia en criterios para formular proyectos con problemas claros, usuarios identificados, niveles de madurez, rutas de validación, modelos de adopción y métricas de uso. La Ruta de articulación responde a las brechas de coordinación, absorción y apropiación, mediante mecanismos que conecten academia, empresa, Estado y sociedad civil alrededor de retos concretos, con responsabilidades, recursos, seguimiento y medición de impacto.

De esta manera, este diagnóstico no busca repetir una descripción general del ecosistema CTI. Medellín que ya cuenta con diagnósticos sobre innovación, emprendimiento, talento, competitividad y política pública. El aporte de este ejercicio consiste en ordenar esos aprendizajes desde una pregunta específica: cómo se está dando la transferencia de conocimiento y cuáles son los principales cuellos de botella para que el conocimiento producido o disponible se convierta en soluciones adoptadas. Esta mirada se acerca al concepto de valorización del conocimiento,

entendido como el proceso mediante el cual los resultados de investigación e innovación generan valor social, económico o público cuando son usados por empresas, gobiernos, comunidades y territorios (European Commission, 2022).

Para abordar esta discusión, el diagnóstico integra tres estrategias metodológicas complementarias. Primero, una revisión documental de diagnósticos, planes, políticas y estudios previos sobre el ecosistema CTI de Medellín y Antioquia. Segundo, una revisión de fuentes secundarias de información, orientada a identificar indicadores sobre capacidades científicas, talento, tejido empresarial, innovación, emprendimiento, adopción tecnológica y condiciones territoriales. Tercero, una consulta directa con actores del sistema CTI, que permite contrastar la evidencia documental y cuantitativa con las percepciones, experiencias y prioridades de quienes participan en la generación, intermediación, financiación, adopción y uso del conocimiento. La combinación de estas fuentes permite construir una lectura más completa que la de un diagnóstico puramente documental o estadístico: la revisión de estudios previos muestra lo que ya se sabe; los indicadores ayudan a identificar patrones y brechas observables; y la consulta con actores permite comprender dimensiones menos visibles, como incentivos, confianza, coordinación, pertinencia de los instrumentos y barreras reales para llevar el conocimiento a la práctica.

En síntesis, este informe analiza la transferencia de conocimiento como una arquitectura de conexión entre oferta, demanda y condiciones habilitantes. Su propósito es identificar los puntos neurálgicos en los que la educación postsecundaria, la investigación, la tecnología, la innovación, la apropiación social del conocimiento, las políticas públicas y las capacidades de los actores pueden contribuir al desarrollo del potencial transformador del Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín.

1.

Mapeo y caracterización de actores

El Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e innovación de Medellín es un ecosistema amplio, diverso y dinámico, conformado por instituciones de educación superior, centros e institutos de investigación, empresas de distintos tamaños y sectores, organizaciones de la sociedad civil, emprendimientos de base tecnológica y entidades públicas del orden distrital y nacional con presencia en el territorio.

Este ecosistema se caracteriza por una alta densidad de capacidades académicas y científicas, una trayectoria consolidada en procesos de innovación empresarial y una cultura institucional orientada al desarrollo basado en conocimiento. La presencia de universidades acreditadas, grupos de investigación reconocidos, centros de desarrollo tecnológico, empresas con vocación innovadora y redes de colaboración sectorial configura un entorno propicio para la generación, transferencia y aplicación del conocimiento.

Asimismo, Medellín ha avanzado en la consolidación de infraestructuras para la innovación, programas de fomento al emprendimiento y mecanismos de articulación público-privada que han fortalecido su posicionamiento como referente nacional en dinámicas de innovación y transformación productiva.

No obstante, la diversidad y amplitud del ecosistema también implican un alto nivel de complejidad institucional, en el que confluyen múltiples agendas, prioridades sectoriales y esquemas de intervención. Esta configuración exige mecanismos sistemáticos que permitan visibilizar capacidades, ordenar interacciones y potenciar sinergias entre actores, con el fin de maximizar el impacto territorial de la CTel.

En este contexto, el Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín presenta un conjunto significativo de activos estratégicos —capital humano cualificado, capacidades científicas, redes empresariales y experiencia en innovación— que constituyen una base sólida para avanzar hacia esquemas de articulación más estructurados, medibles y orientados a resultados.

Para fines específicos del estudio, los actores reconocidos se han identificado y caracterizado teniendo en cuenta la información requerida para realizar el análisis en cada uno de los componentes establecidos: Talento, Ciencia, Tecnología, Innovación

y Apropiación Social del Conocimiento. Teniendo en cuenta lo anterior, se incluyen las Instituciones de Educación Superior reconocidas por el Ministerio de Educación Nacional (2024) y las instituciones asociadas a cada pilar establecidos en la Política Nacional de Actores del Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación – Minciencias. Por tanto, combinando estos dos criterios, se establecen cinco (5) pilares: Formación y capacitación, Generación de conocimiento científico, Desarrollo tecnológico y transferencia de tecnología, Innovación y productividad, Mentalidad y cultura de la CTI, que cuentan con un reconocimiento vigente a diciembre de 2025; los cuales se describen a continuación:

Pilar 1: Formación y capacitación

Instituciones públicas y privadas que abarcan la formación superior (técnica, tecnológica, universitaria), incluyen universidades, Instituciones de Educación Superior y el SENA.

Según reporte del Ministerio de Educación Nacional, a diciembre de 2024, se registran en Medellín 34 Instituciones de Educación Superior (IES) con domicilio en Medellín, de ellas diez (10) son Universidades, dieciocho (18) Instituciones Universitarias, cinco (5) Instituciones Tecnológicas incluida el SENA y una (1) Institución técnica profesional. Del total de IES, diez (10) son de carácter oficial y veinticuatro (24) de carácter privado, once (11) cuentan con Acreditación de alta calidad, dos (2) con acreditación a 10 años, tres (3) a 8 años, cinco (5) a 6 años y una (1) a 4 años.

Tabla 1. Actores reconocidos del Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín

Nombre Institución	Sector	Carácter Académico	Acreditada Alta Calidad	Vigencia (años)
Universidad Nacional de Colombia	Oficial	Universidad	SI	10
Universidad de Antioquia	Oficial	Universidad	SI	10
Universidad Pontificia Bolivariana	Privado	Universidad	SI	6
Universidad EAFIT-	Privado	Universidad	SI	8
Universidad de San Buenaventura	Privado	Universidad	SI	6
Universidad de Medellín	Privado	Universidad	SI	6
Universidad Autónoma Latinoamericana-Unaula-	Privado	Universidad	SI	4
Universidad Cooperativa de Colombia	Privado	Universidad	NO	NA
Universidad CES	Privado	Universidad	SI	6
Universidad Católica Luis Amigó	Privado	Universidad	NO	NA
Colegio Mayor de Antioquia	Oficial	Institución Universitaria	SI	6

Nombre Institución	Sector	Carácter Académico	Acreditada Alta Calidad	Vigencia (años)
Escuela Superior de Administración Pública-ESAP-	Oficial	Institución Universitaria	NO	NA
Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid	Oficial	Institución Universitaria	NO	NA
Fundación Universitaria María Cano	Privado	Institución Universitaria	NO	NA
Fundación Universitaria Seminario Bíblico de Colombia - FUSBC	Privado	Institución Universitaria	NO	NA
Institución Universitaria Visión de Las Américas	Privado	Institución Universitaria	NO	NA
Institución Universitaria Salazar Y Herrera	Privado	Institución Universitaria	NO	NA
Corporación Universitaria Adventista - UNAC	Privado	Institución Universitaria	NO	NA
Corporación Universitaria Remington	Privado	Institución Universitaria	NO	NA
Corporación Colegiatura Colombiana	Privado	Institución Universitaria	NO	NA
Institución Universitaria Pascual Bravo	Oficial	Institución Universitaria	NO	NA
Tecnológico de Antioquia	Oficial	Institución Universitaria	SI	8
Instituto Tecnológico Metropolitano	Oficial	Institución Universitaria	SI	8
Institución Universitaria Escolme	Privado	Institución Universitaria	NO	NA
Fundación Universitaria Esumer	Privado	Institución Universitaria	NO	NA
Fundación Universitaria Bellas Artes	Privado	Institución Universitaria	NO	NA
Corporación Universitaria U de Colombia	Privado	Institución Universitaria	NO	NA
Institución Universitaria Digital de Antioquia -IU Digital	Oficial	Institución Universitaria	NO	NA

Nombre Institución	Sector	Carácter Académico	Acreditada Alta Calidad	Vigencia (años)
Centro Educacional de Computas Y Sistemas - Cedesistemas	Privado	Institución Tecnológica	NO	NA
Escuela de Tecnologías de Antioquia -Eta-	Privado	Institución Tecnológica	NO	NA
Corporación Academia Tecnológica de Colombia -ATEC-	Privado	Institución Tecnológica	NO	NA
Corporación Academia Superior de Artes	Privado	Institución Tecnológica	NO	NA
Servicio Nacional de Aprendizaje- SENA-	Oficial	Institución Tecnológica	NO	NA
Corporación Educativa Instituto Técnico Superior de Artes, IDEARTES	Privado	Institución Técnica Profesional	NO	NA

Fuente: Elaboración Propia a partir de información reportada por el Ministerio de Educación Nacional

Pilar 2: Generación de conocimiento científico

- Investigadores: Persona natural que desarrolla de modo sistemático actividades de generación de conocimiento científico o tecnológico, vinculada a una institución reconocida dentro del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SNCTI), y que cumple con criterios de producción, visibilidad, calidad o impacto establecidos por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación para las categorías de reconocimiento (junior, asociado, sénior, emérito).
- Grupos de investigación: Se entiende como Grupo de Investigación, Desarrollo Tecnológico o de Innovación “al 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)”. Un grupo es reconocido como tal, siempre que demuestre continuamente resultados verificables, derivados de proyectos y de otras actividades procedentes de su plan de trabajo y que además cumpla con los siguientes requisitos mínimos para su reconocimiento.

- Centros e institutos de investigación: Se define como organización pública, privada o mixta independiente que tiene como misión institucional desarrollar diversas actividades de investigación (básica o aplicada), con líneas de investigación declaradas y un propósito científico específico. Un centro de investigación puede prestar servicios técnicos y de gestión a sus posibles beneficiarios, puede estar orientado a la generación de bienes públicos de conocimiento para el país, así como tener una orientación a la generación de conocimiento y su aplicación mediante procesos de desarrollo tecnológico.

A Diciembre de 2025, Medellín cuenta con 3 Centros de Investigación reconocidos por Minciencias: Corporación De Innovación Para El Desarrollo De Productos Contra Enfermedades Tropicales - CIDEPRO, Instituto Colombiano De Medicina Tropical - ICMT y Corporación Para Investigaciones Biológicas - CIB

A Diciembre de 2025, Medellín cuenta con 3 OTRI reconocidas por Minciencias: Corporación Tecnova Universidad Empresa Estado, Unidad Transferencia de Tecnología - UdeA, Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación - UdeM y Área de Transferencia de Tecnología y Conocimiento de Innovación - EAFIT.

➤ **Pilar 3: Desarrollo tecnológico y transferencia de tecnología:**

- Centros de desarrollo tecnológico: Organizaciones públicas o privadas, dedicadas al desarrollo de proyectos de investigación aplicada, el desarrollo de tecnología propia y actividades de transferencia que responden a necesidades y/o oportunidades de desarrollo social y económico del país, sus regiones y/o ciudades. Pueden ser de dos tipos: Centros autónomos o independientes o Centros dependientes.

A Diciembre de 2025, Medellín cuenta con 1 Centro de Desarrollo Tecnológico reconocido por Minciencias: "Centro De Desarrollo Tecnológico - Universidad Nacional De Colombia - Sede Medellín"

- Oficinas de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRIS): Organizaciones públicas o privadas, con personería jurídica propia o dependientes de otra organización, dedicadas a apoyar la creación de empresas de base tecnológica, acelerar el crecimiento y viabilizar proyectos empresariales innovadores. Para ello ofrecen recursos y servicios que pueden incluir renta de espacios físicos, capitalización, coaching, acceso a una red de contactos y otros servicios básicos.

➤ **Pilar 4: Innovación y productividad:**

- Empresas Altamente Innovadoras (EIA): Empresas constituidas en Colombia que realizan de manera sistemática, actividades conducentes a la innovación, mediante procesos claramente establecidos, recursos asignados y resultados verificables.

A Diciembre de 2025, Medellín cuenta con 2 Empresas Altamente Innovadoras reconocidas por Minciencias: ALSEC Alimentos Secos S.A.S. y Compañía Colombiana De Cerámica - COLCERAMICA S.A.S.

- Unidades empresariales de I+D+i: Son sistemas de gestión de la Investigación, Desarrollo Tecnológico o Innovación - I+D+i- de la Empresa, que cuentan con estructuras y procesos sistemáticos y organizados de acuerdo con el modelo de gestión de la empresa a la que pertenece. Su misión principal consiste en la realización de actividades, proyectos de investigación (principalmente aplicada), de desarrollo tecnológico o de innovación para la empresa a la que pertenece, con el objetivo de fortalecer sus capacidades tecnológicas, incrementar la productividad y su competitividad.

A Diciembre de 2025, Medellín cuenta con 5 Unidades Empresariales de I+D+i reconocidas por Minciencias: Compañía de Galletas Noel S.A.S., Tecnologías Marte

S.A.S. - Empresas Públicas de Medellín E.S.P., Quipux S.A. y Compañía Global de Pinturas S.A.S. - Pintuco S.A.S.

- Incubadoras de empresas de base tecnológica: Organizaciones públicas o privadas, con personería jurídica propia o dependientes de otra organización, dedicadas a apoyar la creación de empresas de base tecnológica, acelerar el crecimiento y viabilizar proyectos empresariales innovadores. Para ello ofrecen recursos y servicios que pueden incluir renta de espacios físicos, capitalización, coaching, acceso a una red de contactos y otros servicios básicos.

A Diciembre de 2025, Medellín cuenta con 2 Incubadoras de empresas de base tecnológica reconocidas por Minciencias: Parque del Emprendimiento y Corporación Incubadora de Empresas de Base Tecnológica de Antioquia – Creame.

- Centros de innovación y de productividad: Los Centros de Innovación y Productividad (CIP), se definen como organizaciones públicas o privadas con personería jurídica propia o dependientes de otra entidad establecida en Colombia, que tienen como propósito contribuir al mejoramiento de la competitividad y de la productividad a nivel local, regional o nacional, induciendo la demanda por conocimiento científico, desarrollo tecnológico y/o innovación entre actores clave, así como promoviendo la interacción y el flujo de información entre ellos.

A Diciembre de 2025, Medellín cuenta con 4 Centros de Innovación y productividad reconocidos por Minciencias: Corporación BIOINTROPIC – BIOINTROPIC, Corporación Centro de Innovación y Desarrollo Tecnológico del Sector Eléctrico – CIDET y Corporación Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia, INTERNEXA S.A.

- Parques Científicos, Tecnológicos o de Innovación: Organizaciones públicas o privadas, con personería jurídica, cuyo objetivo es promover la innovación, la productividad empresarial y la competitividad regional, a partir de conocimiento científico y tecnológico. Para ello, estimulan las interacciones entre las empresas y otros actores generadores de conocimiento y tecnología localizados en una zona geográfica determinada, facilitan la creación y el crecimiento de empresas de base tecnológica y proveen otros servicios de valor, espacio físico y otras facilidades para los actores allí localizados.

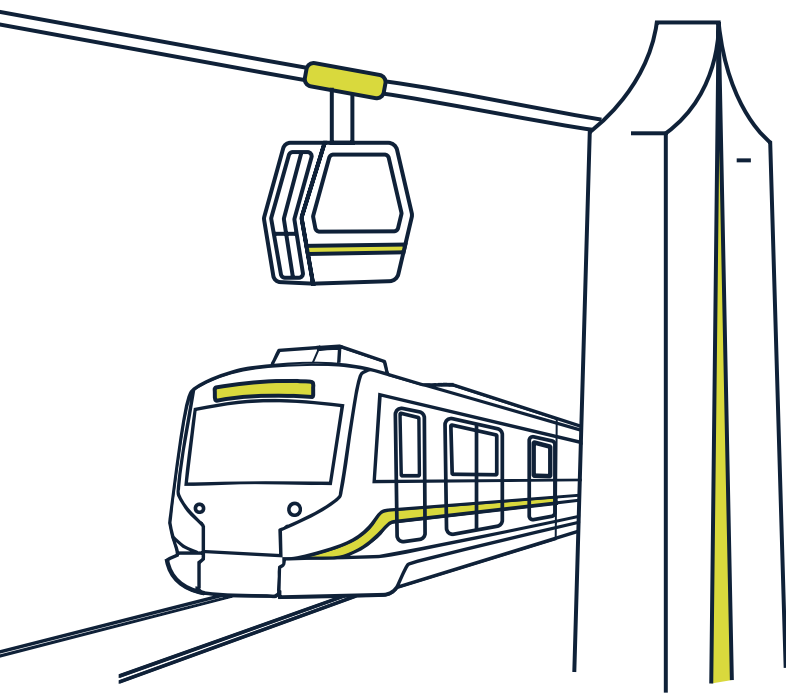
➤ **Pilar 5: Mentalidad y cultura de la CTel:**

- Centros de ciencia: Instituciones de carácter público, privado o mixto, sin ánimo de lucro, con personería jurídica o dependientes de otra organización, con una planta física abierta al público de manera permanente y que tienen la Apropiación Social de la CTI (ASCTI) como parte integral de su misión u objeto social. Asimismo, reconocen la diversidad cultural, económica y social de las comunidades, promueven los principios de acceso democrático a la información y al conocimiento, y contribuyen a fortalecer la cultura CTel en el país mediante programas y actividades educativas.

A Diciembre de 2025, Medellín cuenta con 5 Centros de Ciencia reconocidos por Minciencias: Corporación Parque Explora, Fundación Jardín Botánico “Joaquín Antonio Uribe” de Medellín, Museo de Ciencias Naturales de La Salle - Instituto Tecnológico Metropolitano, Museo Entomológico Francisco Luis Gallego - Universidad Nacional de Colombia Sede

Medellín, Museo Universitario de la Universidad de Antioquia y Parque de La Conservación.

- Organizaciones que fomentan el uso y la apropiación de la CTI: Entidades públicas, privadas o sin ánimo de lucro que, mediante actividades planificadas de divulgación, mediación, educación, diálogo y participación social, promueven la comprensión, el acceso, la utilización y la integración del conocimiento científico, tecnológico e innovador en la sociedad. Su objetivo es que diferentes actores (comunidades, instituciones, empresas, IES) co-participen en procesos de intercambio de saberes y participación en el sistema de ciencia, tecnología e innovación, de modo que se fortalezca la cultura de CTel y se avance hacia una sociedad basada en el conocimiento.



2.

Estrategia metodológica

El diagnóstico sobre el estado de la transferencia de conocimiento en el Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín se construye a partir de una estrategia metodológica integrada que combina tres fuentes de análisis: i) revisión documental de diagnósticos y estudios previos, ii) revisión de información secundaria y, iii) consulta directa con actores clave del sistema CTI. Esta combinación responde a la naturaleza del problema analizado, la transferencia de conocimiento no es un proceso lineal ni observable desde una sola fuente, sino una dinámica compleja en la que interactúan capacidades de oferta, condiciones de demanda, incentivos, políticas públicas, mecanismos de intermediación y capacidades de adopción.

Desde esta perspectiva, el ejercicio adopta una lógica de triangulación metodológica. La literatura sobre métodos mixtos señala que la integración de distintas fuentes de evidencia permite comprender fenómenos complejos desde varias

dimensiones, combinando información cuantitativa, cualitativa y documental para producir interpretaciones más robustas (Creswell & Plano Clark, 2018). En la misma línea, los estudios de caso recomiendan utilizar múltiples fuentes de evidencia cuando se analizan procesos institucionales y territoriales, pues esto permite contrastar hallazgos, reducir sesgos de interpretación y captar mecanismos que no siempre son visibles en los indicadores agregados (Bowen, 2009).

La primera fuente corresponde a la revisión documental de diagnósticos, planes, políticas públicas y estudios previos sobre el ecosistema CTI de Medellín y Antioquia. Esta revisión permite reconocer los principales aprendizajes acumulados sobre capacidades científicas, talento, emprendimiento, innovación, articulación institucional, apropiación social del conocimiento y desarrollo productivo. Su propósito no es repetir diagnósticos existentes, sino ordenar sus hallazgos desde una pregunta específica, qué revelan sobre las dinámicas de transferencia de conocimiento y sobre la capacidad del ecosistema para convertir conocimiento en soluciones adoptadas. En este sentido, la revisión documental funciona como una base analítica para identificar avances, brechas recurrentes, consensos y vacíos de información.

La segunda fuente corresponde a la revisión de información secundaria. Esta fase busca complementar la lectura documental con indicadores que permitan caracterizar las

condiciones del sistema. Se consideran variables asociadas a capacidades científicas y tecnológicas, formación y disponibilidad de talento, tejido empresarial, innovación, emprendimiento, adopción tecnológica, productividad, capacidades institucionales y condiciones territoriales. El objetivo no es producir una medición exhaustiva de todas las dimensiones del ecosistema, sino identificar señales relevantes que permitan contrastar la narrativa de los diagnósticos previos con evidencia observable.

La tercera fuente corresponde a la consulta directa con actores clave del sistema CTI.

Esta fase permite incorporar la experiencia y percepción de quienes participan en la generación, intermediación, financiación, adopción y uso del conocimiento. Su importancia radica en que muchas barreras de la transferencia no son completamente visibles en documentos o indicadores. Aspectos como la confianza entre instituciones, la pertinencia de los instrumentos, los incentivos para colaborar, la disposición empresarial a innovar, la capacidad pública para formular retos o las dificultades para escalar pilotos suelen entenderse mejor a partir de la experiencia directa de los actores.

Tabla 2. Estrategia metodológica

Fuente de análisis	Instrumento o técnica	Alcance	Limitación principal	Uso en el diagnóstico
Revisión documental de diagnósticos y estudios previos	Revisión documental de políticas públicas, planes, diagnósticos, estudios técnicos e informes institucionales.	Identifica aprendizajes acumulados sobre capacidades, brechas, actores, instrumentos y dinámicas del ecosistema CTI de Medellín, Antioquia y el sistema nacional.	Los documentos no siempre abordan directamente la transferencia de conocimiento y pueden tener enfoques, periodos y escalas territoriales distintas.	Permite reconocer consensos, vacíos, tensiones y hallazgos recurrentes que sirven como punto de partida para interpretar las dinámicas de transferencia de conocimiento.
Revisión de información secundaria	Sistematización y análisis de indicadores sobre capacidades científicas, talento humano, inversión, infraestructura, tejido empresarial, innovación, apropiación social y resultados CTI.	Caracteriza condiciones observables del sistema y permite contrastar la narrativa documental con señales cuantitativas disponibles.	La información específica sobre transferencia es parcial, dispersa y no siempre está disponible para Medellín o en series comparables.	Ayuda a validar, matizar o problematizar los hallazgos documentales mediante evidencia empírica disponible.
Consulta directa con actores clave	Formulario, entrevistas o espacios de consulta cualitativa con actores vinculados a generación, intermediación, financiación, adopción, uso y apropiación del conocimiento.	Recoge percepciones, experiencias y prioridades de actores del sistema CTI sobre barreras, incentivos, capacidades y oportunidades de transferencia.	No tiene carácter estadísticamente representativo y depende de la experiencia de los actores consultados.	Permite interpretar mecanismos que no son plenamente visibles en documentos o indicadores, como confianza, coordinación, pertinencia de instrumentos, capacidades de absorción y dificultades para escalar soluciones.

Fuente de análisis	Instrumento o técnica	Alcance	Limitación principal	Uso en el diagnóstico
Integración de hallazgos	Análisis cruzado y triangulación entre evidencia documental, indicadores secundarios y consulta cualitativa.	Relaciona las tres fuentes para construir una lectura integrada sobre capacidades, brechas y condiciones habilitantes de la transferencia de conocimiento.	La triangulación no elimina por completo las restricciones de disponibilidad, comparabilidad o representatividad de la información.	Permite pasar de una descripción de fuentes aisladas a una interpretación analítica del estado de la transferencia de conocimiento en el Distrito.

La integración de estas tres fuentes se realiza mediante un análisis cruzado de hallazgos. La revisión documental permite identificar hipótesis iniciales y aprendizajes previos, la información secundaria ayuda a validar, matizar o problematizar esas hipótesis, y la consulta con actores permite interpretar las causas, mecanismos e incentivos que explican las brechas observadas. De esta manera, el diagnóstico no depende exclusivamente de la narrativa institucional, de los indicadores disponibles o de percepciones individuales, sino que busca construir una lectura balanceada entre evidencia documental, señales cuantitativas y conocimiento situado de los actores.

La revisión documental priorizó fuentes pertinentes para el análisis de CTI, transferencia de conocimiento, innovación, talento, apropiación social y tejido empresarial, con relación directa a Medellín, Antioquia o al sistema nacional de CTI. La selección de actores consideró su participación en actividades de generación, intermediación, financiación, adopción, uso o apropiación del conocimiento, y la revisión de

indicadores se concentró en variables capaces de caracterizar capacidades científicas, talento humano, inversión, infraestructura, gestión, resultados de CTI y condiciones habilitantes de la transferencia.

Entre las principales limitaciones del ejercicio se reconoce que la información específica sobre transferencia de conocimiento es parcial, dispersa y no siempre comparable entre fuentes o escalas territoriales. Algunos indicadores se encuentran disponibles a nivel nacional o departamental, pero no necesariamente para Medellín; además, la consulta con actores clave tiene un carácter cualitativo y no busca ser estadísticamente representativa del conjunto del ecosistema. Por tanto, los hallazgos deben interpretarse como una lectura analítica y triangulada de capacidades, brechas y condiciones habilitantes, más que como una medición exhaustiva o causal del estado de la transferencia de conocimiento en el Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín.



3.

Aprendizajes de los ejercicios que ya han abordado esta cuestión

Medellín cuenta con una trayectoria amplia de diagnósticos, políticas, planes y estudios relacionados con ciencia, tecnología, innovación, emprendimiento, talento humano, tejido empresarial, apropiación social del conocimiento y articulación territorial. Esta sección no busca reiterar esos diagnósticos ni producir un inventario exhaustivo de sus hallazgos. Su propósito es identificar qué aprendizajes de esos ejercicios resultan relevantes para comprender las condiciones que facilitan o limitan la transferencia de conocimiento en Medellín y Antioquia. En este sentido, se diferencian dos niveles de análisis. El primero corresponde a los hallazgos retomados de fuentes externas, el segundo corresponde a la lectura propia de este diagnóstico, es decir, la forma en que esos hallazgos permiten interpretar la transferencia de conocimiento como una dinámica que depende de la interacción entre capacidades científicas, demanda empresarial y social, talento humano, intermediación, financiación, apropiación social y gobernanza.

➤ 3.1 Marco institucional, política pública y actores del sistema

Los documentos de política pública coinciden en reconocer que Medellín ha avanzado en la construcción de una institucionalidad orientada a la ciencia, la tecnología y la innovación. La declaratoria de la ciudad como Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación, constituye un hito en esta trayectoria, al darle soporte jurídico y político a una vocación que ya venía expresándose en instrumentos de planeación, programas, actores especializados y espacios de articulación público-privada (Congreso de Colombia, 2023; DNP, 2024). Desde esta perspectiva, la agenda de CTI aparece organizada alrededor de varios frentes, como, formación de talento y vocaciones STEM, generación de conocimiento, transferencia y uso, apropiación social, articulación institucional y financiación. Esta estructura es relevante porque muestra que la transferencia de conocimiento no se concibe como un componente aislado, sino como parte de un sistema más amplio que requiere capacidades humanas, infraestructura científica, actores especializados, instrumentos de financiación y mecanismos de gobernanza (Alcaldía de Medellín, 2025; DNP, 2024).

A nivel nacional, la política de actores del SNCTI también aporta elementos importantes

para el diagnóstico. Allí se reconoce que el sistema ha tenido un énfasis tradicional en la generación de conocimiento, mientras persisten retos asociados a su transferencia y aplicación, la baja financiación para actividades de CTI, la débil priorización sectorial y la necesidad de consolidar infraestructura de soporte. Además, se plantea la importancia de diferenciar los roles de los actores, sus actividades principales, sus actividades complementarias y sus resultados esperados, lo cual resulta útil para entender que la transferencia depende no solo de la existencia de instituciones, sino también de su especialización, complementariedad y articulación (Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación, 2016). En conjunto, estos documentos permiten identificar una primera convergencia, tanto Medellín como Colombia han reconocido que la consolidación de un ecosistema CTI no depende únicamente de producir conocimiento, sino también de crear condiciones para que ese conocimiento circule, se use y se conecte con necesidades productivas, públicas, sociales y territoriales.

3.2 Capacidades del ecosistema, habilitadores y resultados

Los diagnósticos sobre el ecosistema de innovación de Medellín identifican una diferencia importante entre capacidades instaladas y resultados observables. Una de las aproximaciones utilizadas distingue entre habilitadores, como talento, financiamiento, infraestructura, cultura, comunidad y ambiente de negocios, y outcomes asociados a productividad, sofisticación económica, salarios calificados, dinamismo empresarial y calidad del ecosistema emprendedor. Desde esta perspectiva, Medellín registra avances en algunos indicadores de ingreso y productividad, pero los diagnósticos también señalan rezagos frente a ecosistemas de mayor madurez. Entre los habilitadores donde se identifican brechas aparecen la inversión en

investigación y desarrollo, el financiamiento en etapa temprana, la cooperación en I+D entre academia y sector privado, la conectividad internacional, el nivel de inglés, el capital humano y la tecnología (CUEE & McKinsey, 2022).

La articulación institucional aparece como un activo importante de la ciudad, pero existen tensiones entre esta articulación y su ejecución. Los estudios identifican redes, comités, actores y espacios de encuentro, al mismo tiempo, sugieren que la generación de resultados depende de la capacidad de traducir esa articulación en iniciativas con continuidad, mecanismos de seguimiento y métricas compartidas. En este sentido, la revisión documental ha permitido distinguir entre la existencia de coordinación institucional y la capacidad efectiva de convertir esa coordinación en procesos de transferencia, adopción o innovación aplicada (Alcaldía de Medellín, 2025; CUEE & McKinsey, 2022).

3.3 Emprendimiento, inversión y tejido empresarial

El emprendimiento tecnológico aparece en los estudios y políticas revisados como uno de los activos más visibles del ecosistema CTI. Los reportes recientes ubican a Medellín como uno de los principales nodos del país en número de startups y destacan su participación en sectores como fintech, healthtech, govtech, inteligencia artificial, enterprise software, cleantech, energytech y soluciones digitales (KPMG, 2024). Esta dinámica muestra que el emprendimiento de base tecnológica puede operar como un canal de experimentación, validación de soluciones, atracción de talento y conexión con mercados de inversión.

No obstante, la misma evidencia introduce matices sobre el alcance de este dinamismo. Los reportes sobre startups identifican

restricciones relacionadas con acceso a capital, internacionalización, escalabilidad, tamaño del mercado local, madurez de los modelos de negocio y relación con inversionistas. Esto sugiere que el emprendimiento tecnológico constituye una fortaleza del ecosistema, pero su contribución a la transferencia de conocimiento está mediada por condiciones adicionales de financiación, talento especializado, validación con usuarios, acompañamiento empresarial y conexión con sectores productivos o públicos (KPMG, 2024).

La revisión del tejido empresarial amplía esta mirada. Los datos recientes muestran que Medellín tiene una participación empresarial relevante dentro del país, después de Bogotá. Sin embargo, también evidencian que la estructura productiva tanto en Medellín, como en Colombia en general, está altamente concentrada en microempresas. Esta composición resulta importante porque indica que la demanda potencial de conocimiento es heterogénea y que las capacidades de absorción empresarial no son uniformes (Ministerio de Comercio Industria y Turismo, 2024).

Desde esta perspectiva, los documentos revisados permiten diferenciar entre generación de conocimiento, emprendimiento de base tecnológica y adopción por parte del tejido empresarial más amplio. Mientras algunos actores cuentan con capacidades para participar en proyectos de I+D, innovación abierta, licenciamiento, spin-offs o pilotos tecnológicos, una parte significativa de las unidades productivas puede enfrentar restricciones de información, financiamiento, capacidades digitales, habilidades gerenciales, formalización y escala. Esta diferencia aparece como un elemento central para comprender las dinámicas de transferencia en un ecosistema con actores productivos diversos.

3.4 Talento humano y capacidades para adoptar conocimiento

El talento humano aparece como una dimensión transversal en los documentos de política pública y en los diagnósticos empresariales. Los instrumentos de política reconocen la importancia de fortalecer vocaciones STEM, formación en CTI y capacidades asociadas a transformación digital e innovación (Alcaldía de Medellín, 2025; DNP, 2024). Desde la perspectiva de la demanda empresarial, los estudios de talento identifican competencias críticas como liderazgo, comunicación asertiva, pensamiento estratégico, pensamiento analítico, innovación, solución de problemas, trabajo en equipo, adaptabilidad, habilidades digitales e inglés (ANDI, 2022).

Los diagnósticos empresariales también reportan dificultades para encontrar perfiles en áreas como ciencia de datos, arquitectura de software, analítica, ciberseguridad, ingeniería TI, transformación digital, desarrollo tecnológico, programación, innovación e investigación y desarrollo. Estos hallazgos muestran que la transferencia de conocimiento no se relaciona únicamente con investigadores, laboratorios o proyectos tecnológicos, sino también con capacidades laborales y organizacionales para interpretar problemas, adaptar soluciones, gestionar proyectos, implementar tecnologías y conectar conocimiento técnico con necesidades concretas (ANDI, 2022).

En este sentido, la brecha de talento aparece en los documentos como una dimensión asociada a la transferencia. Cuando las empresas, entidades públicas u organizaciones sociales no cuentan con capacidades internas suficientes para reconocer, asimilar y aplicar conocimiento externo, se reduce la posibilidad de que la producción científica o tecnológica se traduzca en innovación, productividad o soluciones aplicadas. Esta lectura conecta

la formación de talento con la capacidad de absorción del ecosistema.

3.5 Síntesis de la revisión documental

A partir de los documentos revisados, se identifican varios hallazgos retomados de fuentes externas, Medellín y Antioquia cuentan con capacidades institucionales, científicas, empresariales y territoriales relevantes; existe una trayectoria de política pública en CTI; se reconocen actores especializados, instrumentos de articulación, emprendimientos de base tecnológica y capacidades de talento humano; y persisten brechas asociadas a financiación, escalamiento empresarial, adopción tecnológica, capacidades de absorción, gobernanza, apropiación social y medición de resultados.

La lectura propia de este diagnóstico consiste en interpretar esos hallazgos desde la perspectiva de la transferencia de conocimiento. Desde esta mirada, el problema no parece estar únicamente en la ausencia

de capacidades, sino en la distancia entre capacidades disponibles y uso efectivo del conocimiento. La región cuenta con instituciones, programas, talento, startups, instrumentos y experiencias de articulación; sin embargo, los diagnósticos revisados muestran que la transferencia depende de condiciones adicionales, como demanda por soluciones, capacidades de absorción, intermediación, financiación, confianza, pertinencia de los instrumentos, validación con usuarios, escala territorial y seguimiento a resultados.

Así, el principal aprendizaje de la revisión documental es que la transferencia de conocimiento debe analizarse como una dinámica sistémica y no como una función aislada de universidades, empresas o entidades públicas. El aporte diferencial de este diagnóstico es ordenar los aprendizajes previos alrededor de una pregunta específica: en qué puntos se generan barreras para que el conocimiento producido o disponible se traduzca en soluciones adoptadas, capacidades productivas, innovación pública, apropiación social y valor territorial.

4.

Lo que revelan los principales indicadores del ecosistema

El análisis de información secundaria busca complementar la revisión documental y la consulta directa con actores a partir de una lectura sistemática de indicadores del ecosistema CTI de Medellín. Su propósito no es construir una medición exhaustiva de todas las dimensiones del sistema, sino organizar un conjunto de señales que permitan observar cómo se configuran las capacidades, los productos y los posibles efectos asociados a la transferencia de conocimiento en el Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín. Para ello, la sección organiza el análisis en cinco categorías: talento, ciencia, tecnología, innovación y apropiación social del conocimiento (ASC). Estas categorías permiten aproximarse a distintos componentes del sistema. El talento da cuenta de las capacidades humanas disponibles para producir, adoptar y usar conocimiento. La ciencia recoge la base de generación de conocimiento académico y especializado.

La tecnología permite observar capacidades de infraestructura, propiedad intelectual y mecanismos de desarrollo o aplicación tecnológica. La innovación aproxima la conexión entre conocimiento, empresa, sector público y adopción de soluciones. Finalmente, la ASC permite reconocer que la transferencia no solo ocurre en mercados o instituciones productivas, sino también en comunidades, territorios y espacios de interacción social donde el conocimiento circula, se apropia y se convierte en capacidades colectivas.

El análisis se estructura, además, en tres tipos de indicadores: inputs, outputs y outcomes. Esta clasificación es útil porque evita confundir la existencia de capacidades con la generación efectiva de valor. Los inputs corresponden a los recursos, capacidades y condiciones iniciales que permiten que el ecosistema produzca o movilice conocimiento. En esta categoría se incluyen, por ejemplo, programas de formación, grupos de investigación, laboratorios, inversión en innovación y espacios o actores vinculados a la apropiación social del conocimiento. Estos indicadores permiten observar la base instalada del sistema, es decir, qué capacidades existen, dónde están localizadas y qué tan robustas son para sostener procesos de formación, investigación, desarrollo tecnológico, innovación y participación social. Los outputs corresponden a los productos directos que resultan de esas capacidades. En esta categoría pueden incluirse graduados, publicaciones, productos de propiedad

intelectual, desarrollos tecnológicos, proyectos de innovación, entre otros. Su importancia radica en que permiten observar si las capacidades existentes se están traduciendo en productos concretos. No obstante, un output no implica necesariamente transferencia efectiva. Una publicación, una patente, un graduado o un proyecto ejecutado son señales relevantes, pero no garantizan por sí mismos que el conocimiento haya sido adoptado, utilizado o convertido en valor económico, público, social o territorial.

Por esta razón, el análisis incorpora una tercera capa, los outcomes. Estos indicadores buscan aproximarse a los efectos o cambios asociados al uso del conocimiento. A diferencia de los outputs, los outcomes ponen el énfasis en la adopción, la aplicación y la transformación. En talento, esto puede relacionarse con inserción laboral, salarios, pertinencia de la formación o vinculación con sectores estratégicos. En ciencia, con la influencia, colaboración o uso del conocimiento producido. En tecnología, con licenciamientos, adopción de desarrollos o aplicación de activos de propiedad intelectual. En innovación, con cambios en la estructura productiva, productividad, sofisticación empresarial o adopción de soluciones. En ASC, con cambios en cultura científica, participación, diálogo de saberes o apropiación territorial del conocimiento. Esta lectura es consistente con marcos recientes de medición de ciencia, tecnología e innovación. El Manual de Oslo amplía el análisis hacia la medición de la innovación, sus actividades, resultados y condiciones sistémicas, reconociendo que la innovación no se limita a la investigación formal, sino que incluye procesos de adopción, organización, comercialización y uso de conocimiento en contextos productivos e institucionales (OECD, 2018).

Bajo esta lógica, la información secundaria se entiende como una herramienta para observar el ecosistema desde una perspectiva de cadena de valor. Los inputs muestran la base de capacidades; los outputs muestran los productos generados; y los outcomes

permiten aproximarse a la conversión de esos productos en efectos reales. Esta secuencia no implica que la transferencia ocurra de manera automática ni lineal. Por el contrario, permite identificar en qué punto pueden aparecer cuellos de botella: un ecosistema puede tener buenos inputs, pero pocos outputs; puede producir muchos outputs, pero lograr baja adopción; o puede contar con experiencias exitosas de transferencia, pero concentradas en pocos actores, sectores o territorios. Esta distinción es especialmente relevante para Medellín porque el reto de la transferencia de conocimiento no puede analizarse únicamente desde la oferta científica ni únicamente desde la demanda empresarial. Es necesario observar, de manera articulada, si el sistema forma talento pertinente, produce conocimiento, dispone de capacidades tecnológicas, promueve innovación en empresas y entidades públicas, y genera condiciones para que la ciudadanía y los territorios se apropien del conocimiento. La transferencia ocurre precisamente en la conexión entre estas dimensiones. Por eso, el análisis de información secundaria se organiza como una lectura transversal de las cinco categorías y los tres tipos de indicadores.

4.1 Talento

El talento constituye la base de capacidades humanas del sistema de ciencia, tecnología e innovación y, al mismo tiempo, uno de sus mecanismos de transferencia de conocimiento más prominentes hacia la sociedad. A diferencia de otros canales, la formación de capital humano traslada conocimiento de manera directa y masiva: los graduados se incorporan al tejido productivo, institucional y social, y con ellos circulan competencias, métodos y capacidades que el sistema ha cultivado. Observar el talento permite, por tanto, observar tanto la capacidad instalada para producir conocimiento como su vía más cotidiana de incorporación al territorio.

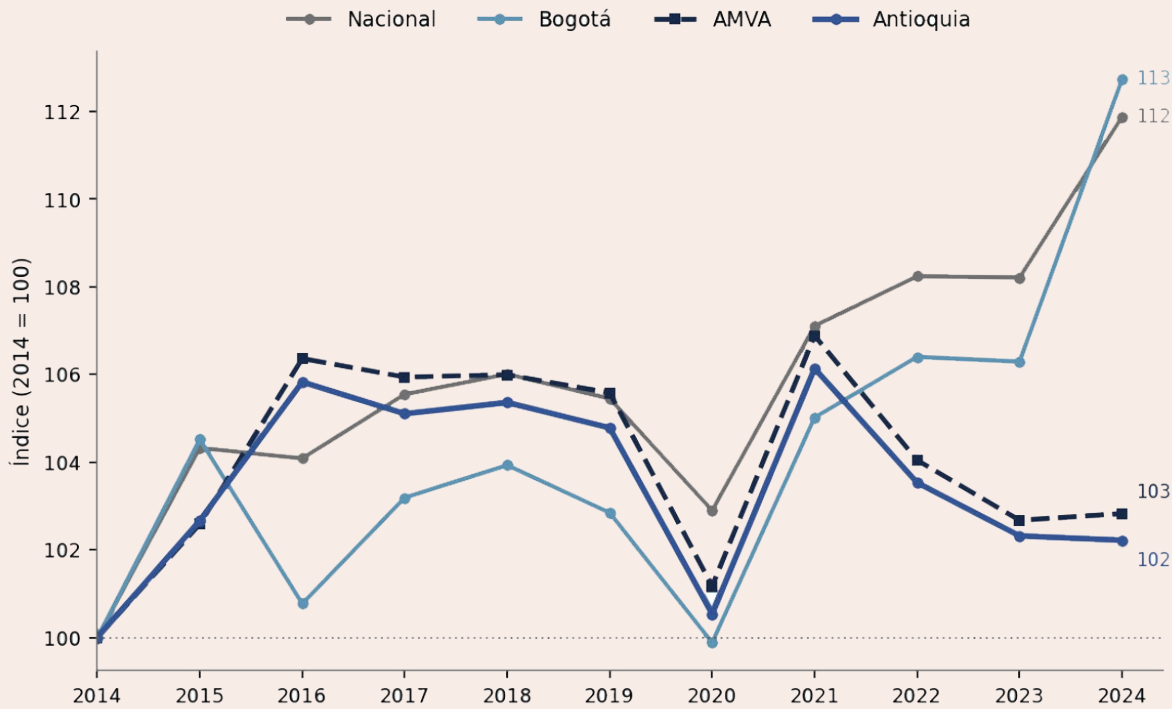
Siguiendo la lógica de insumos, productos e impactos, esta subsección organiza la lectura del talento en tres momentos: los insumos que Medellín y Antioquia destinan a la formación, los productos que de ella resultan y los impactos asociados a la inserción de las personas formadas. En cada momento se contrastan las cifras locales con el referente nacional y con Bogotá. Dado que Bogotá es, además, una ciudad considerablemente más poblada que Medellín, las comparaciones de volumen se interpretan teniendo presente esa diferencia de escala.

4.1.1 Insumos: estudiantes e instituciones

El primer insumo es la masa crítica de El primer insumo es la masa crítica de estudiantes. La matrícula en educación superior expresa el

tamaño del esfuerzo formativo de un territorio y la base sobre la cual se producen los graduados. En términos absolutos, Antioquia registra una matrícula de primer semestre sensiblemente menor que la de Bogotá, cercana a 308 mil frente a 872 mil en 2024, un contraste de magnitud que se sostiene a lo largo de la última década (Figura 3.1). Más revelador que el nivel es la trayectoria: al reescalar cada serie con base 100 en 2014, la matrícula de Antioquia y de su área metropolitana se mantiene prácticamente plana durante todo el periodo, mientras Bogotá y el conjunto del país crecen alrededor de un 23% y 15%, respectivamente. La región no redujo su esfuerzo formativo, pero tampoco acompañó la expansión que sí muestran el referente nacional y la capital.

Figura 3.1. Matrícula en educación superior (primer semestre): Antioquia, Área Metropolitana del Valle de Aburrá frente a Bogotá y el país (años comparables).

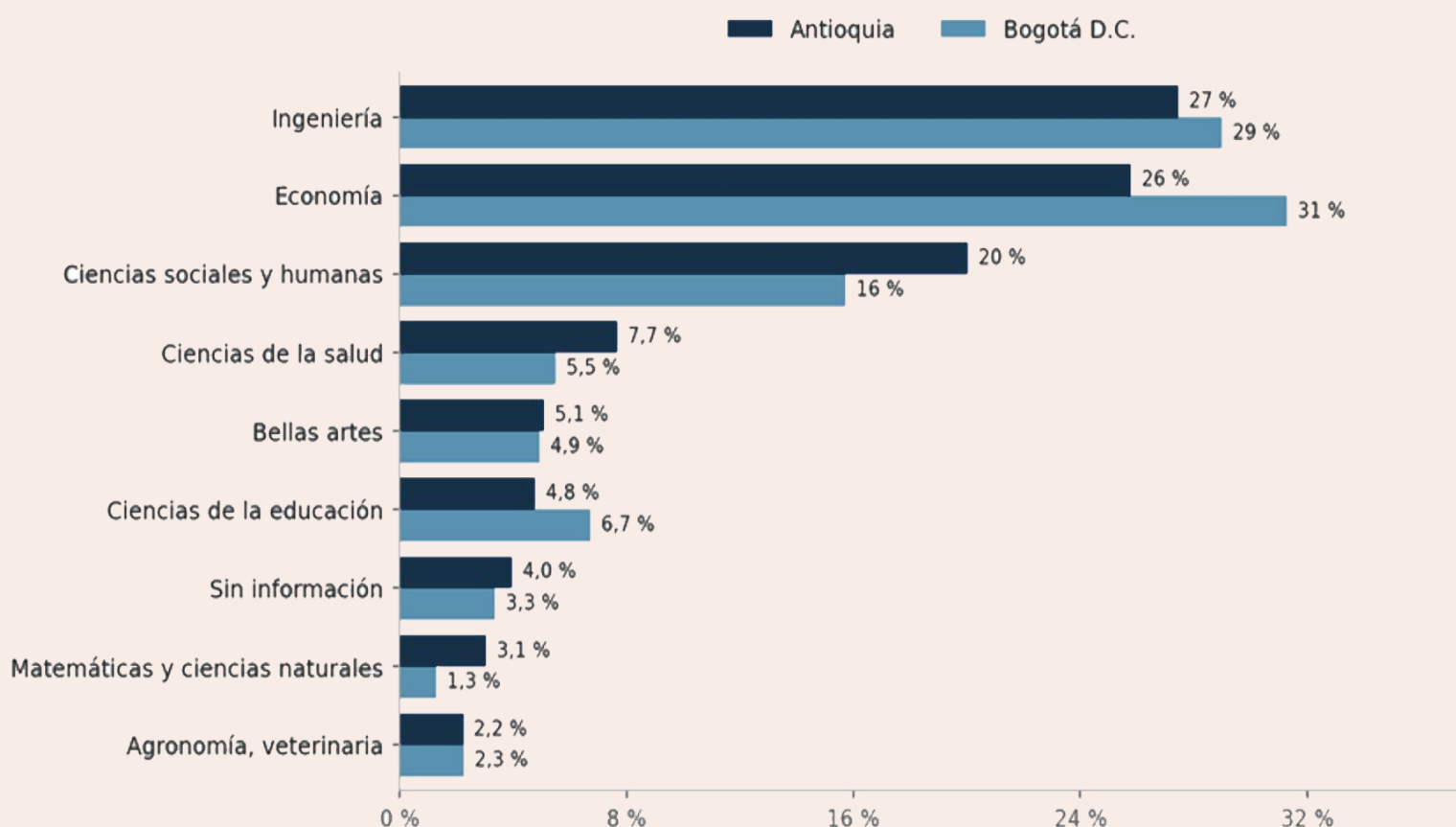


Fuente: SNIES (MEN).

La composición temática de esa matrícula (Figura 3.2) revela perfiles parecidos en su núcleo, pues ambos territorios concentran la formación en ingeniería y en economía, administración y afines, pero con matices relevantes: Antioquia presenta un peso

relativo mayor en ciencias sociales y humanas, ciencias de la salud y ciencias naturales, mientras Bogotá inclina su matrícula con más fuerza hacia economía y administración y hacia las ciencias de la educación.

Figura 3.2. Composición de la matrícula por área de conocimiento, 2024.

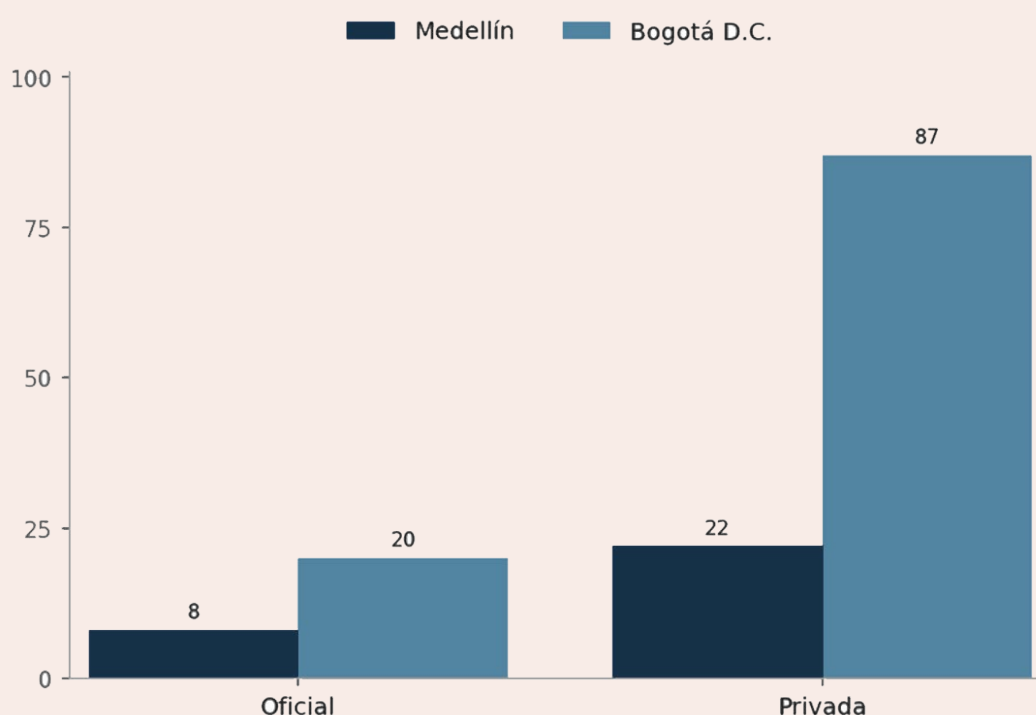


Fuente: SNIES (MEN).

El segundo insumo son las instituciones que ofrecen esa formación. La Figura 3.3 contrasta el número de Instituciones de Educación Superior por sector en Medellín y Bogotá: la capital cuenta con una oferta institucional varias veces mayor, sostenida sobre todo por

instituciones privadas. Esta diferencia es, en buena medida, coherente con la mayor escala poblacional de Bogotá, por lo que conviene leerla como un rasgo de tamaño más que como una brecha de densidad institucional.

Figura 3.3. Instituciones de Educación Superior por sector.



Fuente: SNIES (MEN). IES con domicilio en el municipio, 2024.

En conjunto, los insumos describen a Medellín y Antioquia como un polo de formación de primer orden en el país, con un perfil temático algo más diversificado hacia la salud y las ciencias. En volumen, su matrícula es menor que la de Bogotá, en parte por la mayor escala de la capital, pero lo más revelador no está en los niveles sino en las dinámicas,

y estas son marcadamente diferenciales. A lo largo de la última década, el país y Bogotá ampliaron su matrícula alrededor de un 12 %, mientras la de Medellín y Antioquia se mantuvo prácticamente estancada; en graduados la divergencia de ritmo es todavía mayor. Al situar cada territorio en su propia base temporal, la comparación deja de depender del tamaño y

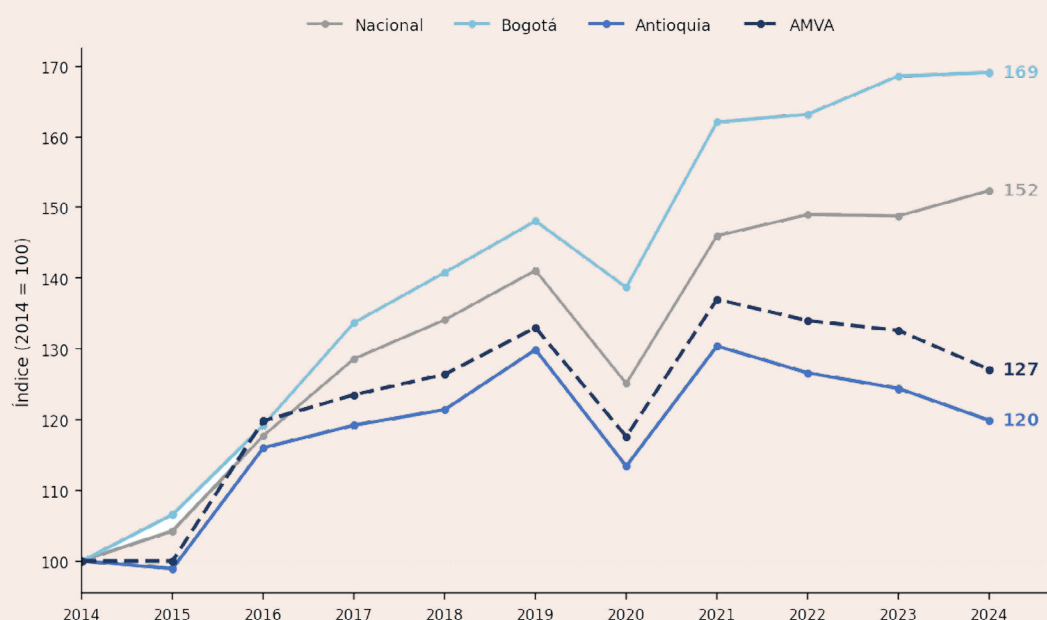
muestra con nitidez que la región avanzó a un ritmo muy inferior al del resto del país. Lo que distingue hoy a Medellín y Antioquia, entonces, no es tanto una brecha de magnitud como una pérdida de impulso relativo, la de un sistema formativo que dejó de expandirse al compás nacional y cuya distancia con la capital, en consecuencia, se ensancha año tras año.

4.1.2 Productos: graduados y campos temáticos

El producto más directo del talento son los graduados. En términos absolutos, Bogotá gradúa cada año más de tres veces el número de personas que Antioquia, cerca de 201 mil frente a 59 mil en 2024 (suma anual de ambos semestres). Vista de forma acumulada desde

2014 (Figura 3.4), esa distancia se ensancha año tras año: en la última década Bogotá ha sumado alrededor de 1,8 millones de graduados, frente a unos 638 mil en Antioquia y 556 mil en su área metropolitana. Buena parte de la diferencia de volumen es atribuible a la escala, pues la población de Bogotá supera holgadamente a la de Antioquia, de modo que el contraste de magnitud no equivale, por sí solo, a una brecha de desempeño. Al controlar ese efecto de tamaño, sin embargo, la señal persiste: entre 2014 y 2024 los graduados crecieron alrededor de un 52% en el país y un 69% en Bogotá, pero solo un 20% en Antioquia y un 27% en su área metropolitana, de modo que la pendiente del acumulado se empina en la capital y en el referente nacional mientras la región avanza a un ritmo mucho más lento.

Figura 3.4. Graduados en educación superior: Antioquia y Área Metropolitana del Valle de Aburrá frente a Bogotá y el país.

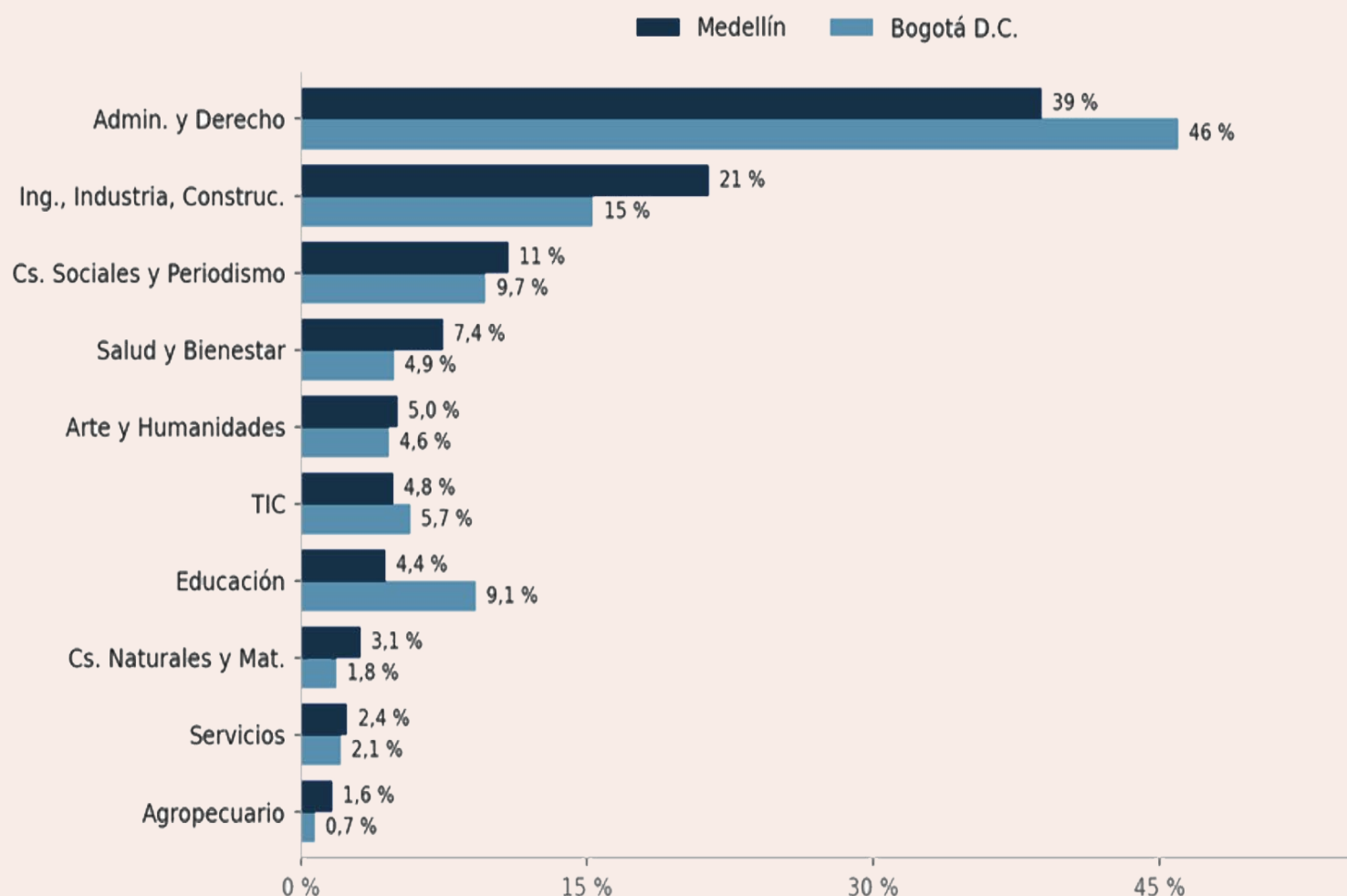


Fuente: SNIES (MEN).

La composición por campos temáticos de los graduados (Figura 3.5) matiza esa lectura de volumen. Bogotá gradúa proporcionalmente más en administración y derecho,

mientras Medellín muestra una vocación comparativamente más marcada en ingeniería, industria y construcción, así como en salud y en ciencias naturales.

Figura 3.5. Graduados por campo temático (Clasificación Internacional Normalizada de la Educación, CINE), 2024.

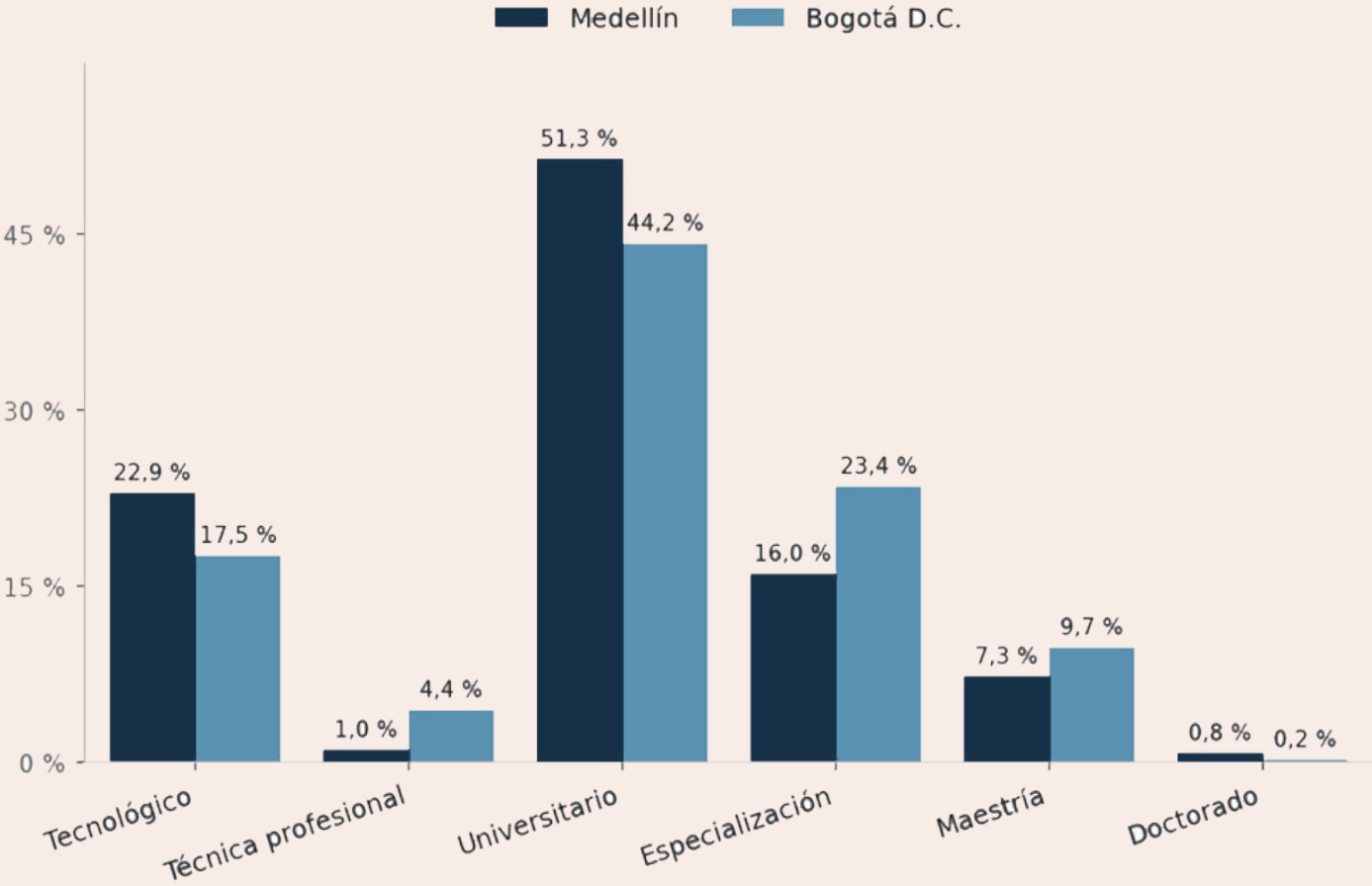


Fuente: SNIES (MEN), cálculos propios.

La distribución por nivel de formación (Figura 3.6) añade un contraste adicional: la graduación de Medellín se apoya relativamente más en el nivel universitario y tecnológico,

mientras Bogotá concentra una proporción mayor en posgrado, particularmente especializaciones y maestrías.

Figura 3.6. Graduados por nivel de formación, 2024. Fuente: SNIES (MEN), cálculos propios.

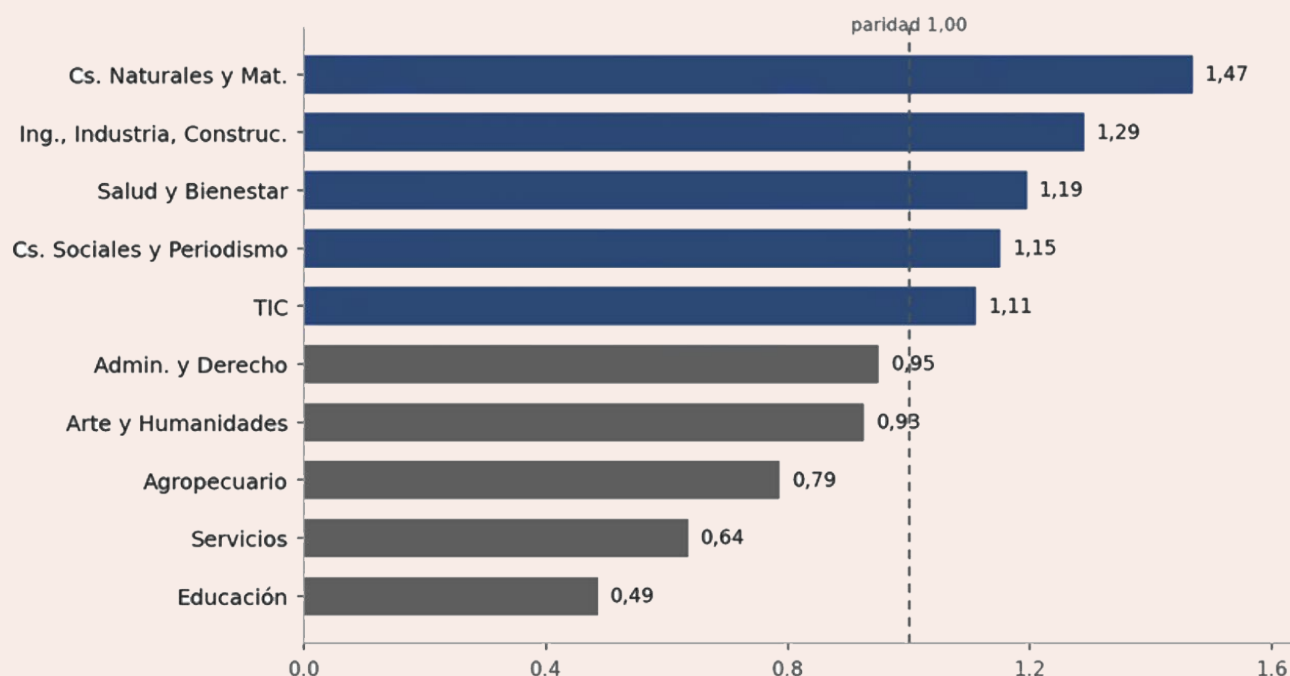


Fuente: SNIES (MEN), cálculos propios.

Esa vocación se ve con nitidez al medir la ventaja relativa de cada campo, es decir, su peso entre los graduados de Medellín en relación con el peso que tiene en el país (Figura 3.7). Medellín se especializa, por encima del promedio nacional, en ingeniería, industria y

construcción, en salud y en ciencias naturales, y queda por debajo en administración y derecho y en educación. El perfil confirma una orientación formativa relativa hacia los campos técnicos y de la salud.

Figura 3.7. Ventaja relativa de Medellín por campo de graduación (peso del campo en Medellín en relación con el promedio nacional; 1,00 indica paridad).



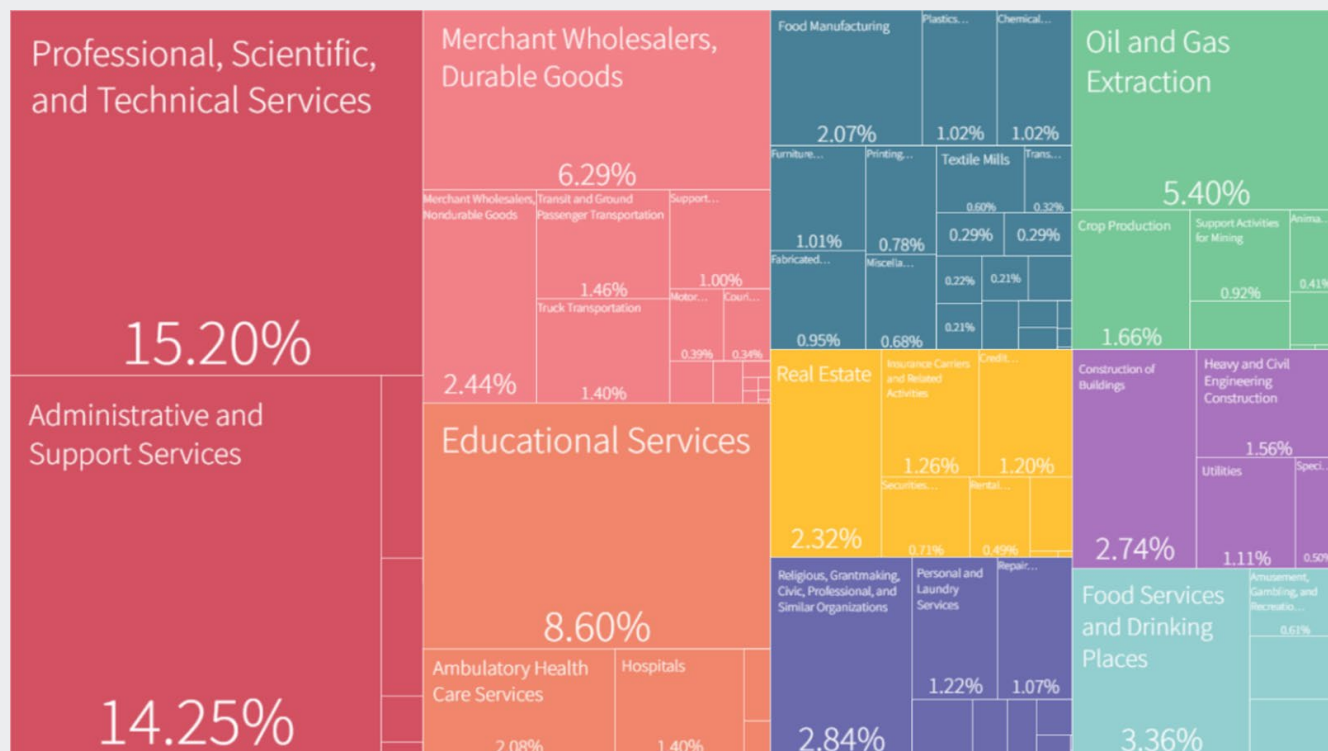
Fuente: SNIES (MEN), cálculos propios.

En síntesis, Medellín forma un volumen significativo de graduados, con fortalezas en lo técnico e ingenieril y en la salud. Bogotá la supera en magnitud absoluta y en orientación hacia el posgrado, pero una parte importante

de esa ventaja se explica por su mayor tamaño poblacional. Distancia, que como se puede distinguir de la subsección de insumos, puede aumentarse dados los cambios en las tendencias de matriculados y graduados.

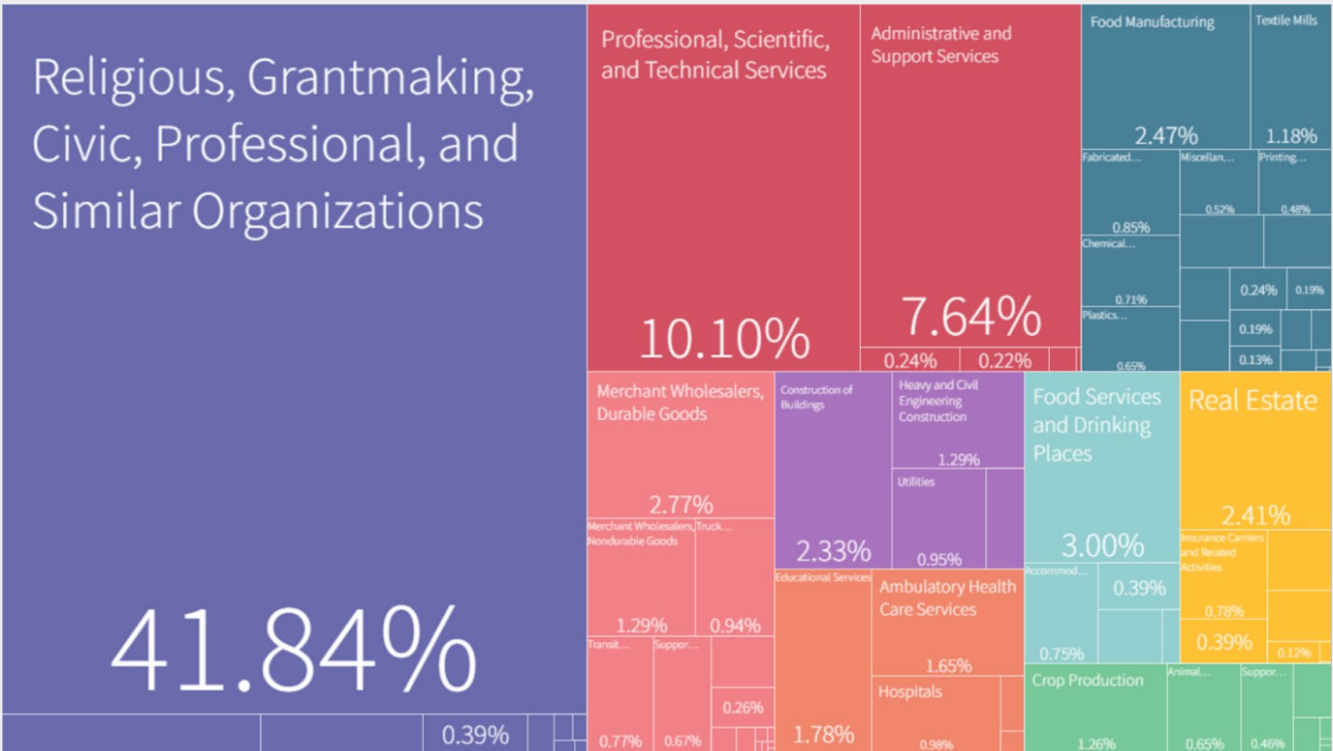
Este bloque ancla el sentido último de la lectura del talento: las diferencias de magnitud observadas en insumos y productos solo adquieren significado pleno al examinar si la

Figura 3.8. Distribución ocupacional de la ciudad de Bogotá, 2026.



Fuente: Harvard Atlas of Economic Complexity.

Figura 3.9. Distribución ocupacional de la ciudad de Medellín, 2026.



Fuente: Harvard Atlas of Economic Complexity.

El contraste entre ambas estructuras es interesante: Bogotá despliega un tejido ocupacional más diversificado y con mayor peso de las actividades intensivas en conocimiento: servicios profesionales, científicos y técnicos, educación y servicios especializados, mientras que la composición de Medellín se concentra en un conjunto más estrecho de actividades. Para la lectura del talento esto es significativo: una economía

con una canasta ocupacional más amplia y sofisticada ofrece más vías de inserción pertinente a las personas altamente formadas y, por esa vía, mayores oportunidades de que el conocimiento producido localmente se convierta en valor. Esta evidencia debe mirarse como una aproximación de contexto, ya que describe el entorno productivo que podría absorber el talento, no la inserción efectiva ni los ingresos de los graduados.

A continuación, se examinan aspectos relacionados con el talento en Medellín desde el punto de vista de los resultados de las pruebas SABER 11, SABER PRO, así como el observatorio laboral para la educación OLE, del Ministerio de Educación Nacional – LEI-.

DERECHO Y AFINES	TERAPIAS	INGENIERÍA ADMINISTRATIVA Y AFINES	BIOLOGÍA, MICROBIOLOGÍA Y AFINES	INGENIERÍA AGRONÓMICA, PECUARIA Y AFINES	FÍSICA
7.97%	2.37%	1.11%	0.76%	0.57%	0.31%
CONTADURÍA PUBLICA	INGENIERÍA MECÁNICA Y AFINES	DEPORTES, EDUCACIÓN FÍSICA Y RECREACIÓN	INGENIERÍA QUÍMICA Y AFINES	NUTRICIÓN Y DIETÉTICA	ANTROPOLOGÍA, NOCIONES LINGÜÍSTICAS Y AFINES
8.37%	2.4%	0.79%	0.64%	0.64%	0.16%
	DISEÑO	ECONOMÍA	INGENIERÍA ELÉCTRICA Y AFINES	QUÍMICA Y AFINES	MATEMÁTICAS ESTADÍSTICA Y AFINES
	2.51%	1.24%	0.82%	0.7%	0.21%
	INGENIERÍA CIVIL Y AFINES	MEDICINA VETERINARIA	PUBLICIDAD Y AFINES	FILOSOFÍA, TEOLOGÍA Y AFINES	GEOGRAFÍA, HISTORIA
	8.37%	1.25%	0.91%	0.52%	0.3%
	3.38%	SOCIOLOGÍA, TRABAJO SOCIAL Y AFINES	ENFERMERÍA	ARTES PLÁSTICAS, VISUALES Y AFINES	BACTERIOLOGÍA
	MEDICINA	2.07%	1.11%	0.75%	0.5%
	4.73%	INGENIERÍA INDUSTRIAL Y AFINES	1.1%	CIENCIA POLÍTICA, RELACIONES INTERNACIONALES	MÚSICA
	EDUCACIÓN	3.74%	1.81%	INGENIERÍA BIOMÉDICA Y AFINES	OTRAS INGENIERÍAS
	6.02%	INGENIERÍA DE SISTEMAS, TELEMÁTICA Y AFINES	1.62%	ODONTOLOGÍA	INGENIERÍA ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y AFINES
		5.94%	3.44%	INGENIERÍA AMBIENTAL, SANITARIA Y AFINES	
			5.14%		

Tecnova 

La Figura 3.10 muestra la distribución por carrera de quienes presentan las pruebas en 2024 en Medellín. Las áreas con mayor participación son Administración (17,5%), Contaduría Pública (8,4%) y Derecho y afines (8,0%), lo que evidencia una fuerte orientación hacia capacidades de gestión, regulación y

administración organizacional. Les siguen Educación (6,0%), Ingeniería de Sistemas y Telemática (5,9%), Psicología (5,1%) y Medicina (4,7%), junto con diversas ramas de ingeniería, comunicación social, arquitectura, enfermería y disciplinas creativas, lo que dibuja una estructura ocupacional relativamente interdisciplinaria.

Figura 3.11. Graduados por programa, carreras STEM en Medellín.



Nota: elaboración propia a partir de las pruebas Saber PRO-2024.

La lectura más interesante la muestra la Figura 3.11. No es únicamente la distribución interna de las carreras STEM, sino el hecho de que solo el 25,2% de los estudiantes que presentaron Saber Pro en Medellín durante 2024 pertenecen a programas STEM (43.415 de 172.277 estudiantes). Es decir, uno de cada cuatro estudiantes universitarios de la ciudad se forma

en áreas asociadas con ciencia, tecnología, ingeniería, matemáticas o salud.

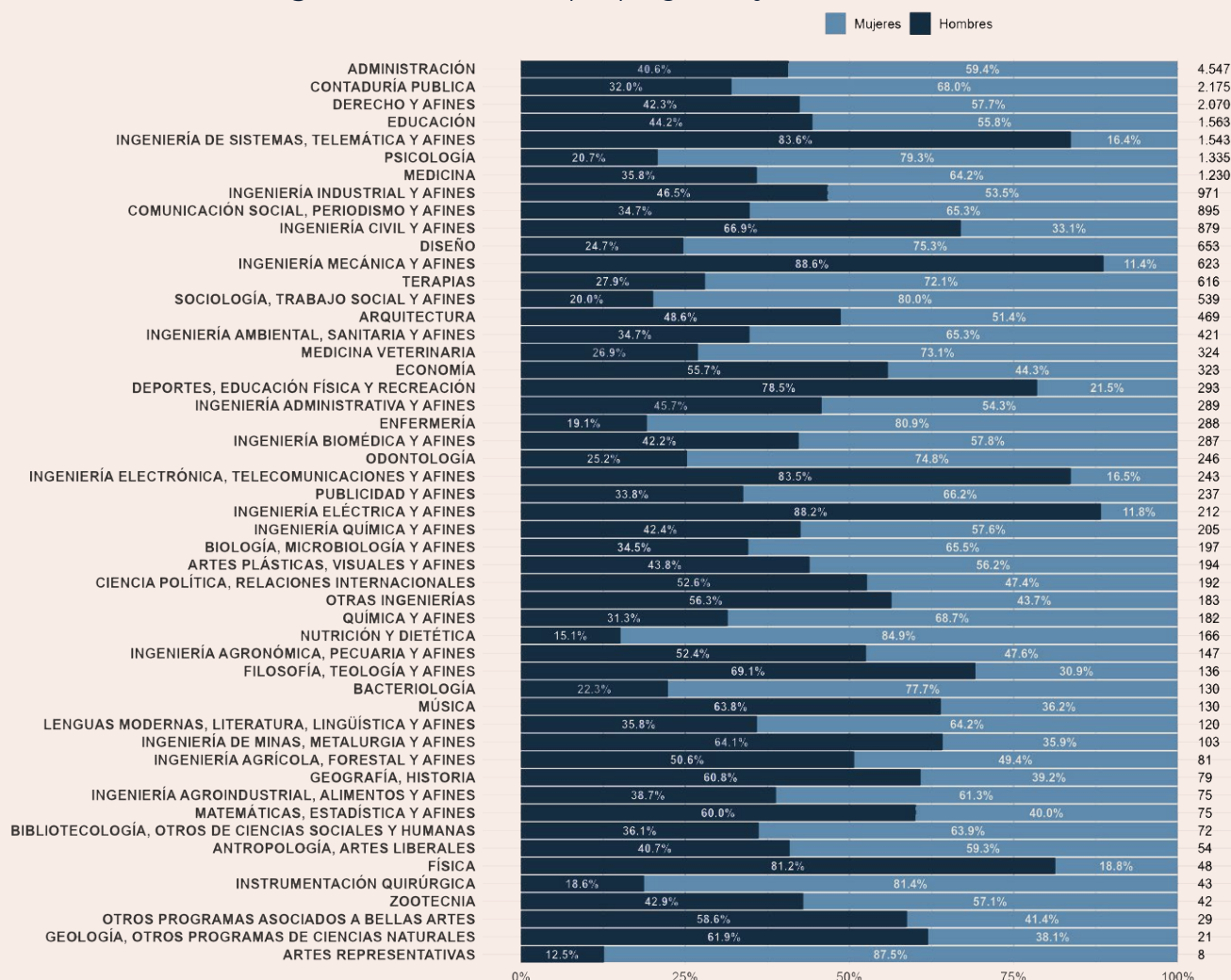
Dentro de este grupo STEM, la formación se concentra principalmente en Ingeniería de Sistemas, Telemática y afines (16,3%), Medicina (13,0%), Ingeniería Industrial (10,3%) e Ingeniería Civil (9,3%). También destacan Ingeniería

Mecánica (6,6%), Terapias (6,5%) e Ingeniería Ambiental (4,4%), mientras que disciplinas como ingeniería eléctrica, electrónica, química, biomedicina y ciencias básicas presentan participaciones más reducidas.

Desde la perspectiva del ecosistema CTI de Medellín, estos resultados muestran una fortaleza importante en áreas relacionadas con la transformación digital, la ingeniería aplicada y las ciencias de la salud, que constituyen una base relevante para la adopción tecnológica y

la innovación. Sin embargo, también evidencian una menor participación relativa de programas asociados a ciencias básicas como física, química o biología, disciplinas que suelen desempeñar un papel central en la generación de conocimiento científico de frontera. En términos de The Innovation Paradox, Medellín parece contar con una base sólida de talento para la absorción y aplicación tecnológica, aunque enfrenta el desafío de seguir fortaleciendo las capacidades científicas que alimentan la innovación de largo plazo.

Figura 3.12. Graduados por programa y sexo en Medellín.



Nota: elaboración propia a partir de las pruebas Saber PRO-2024.

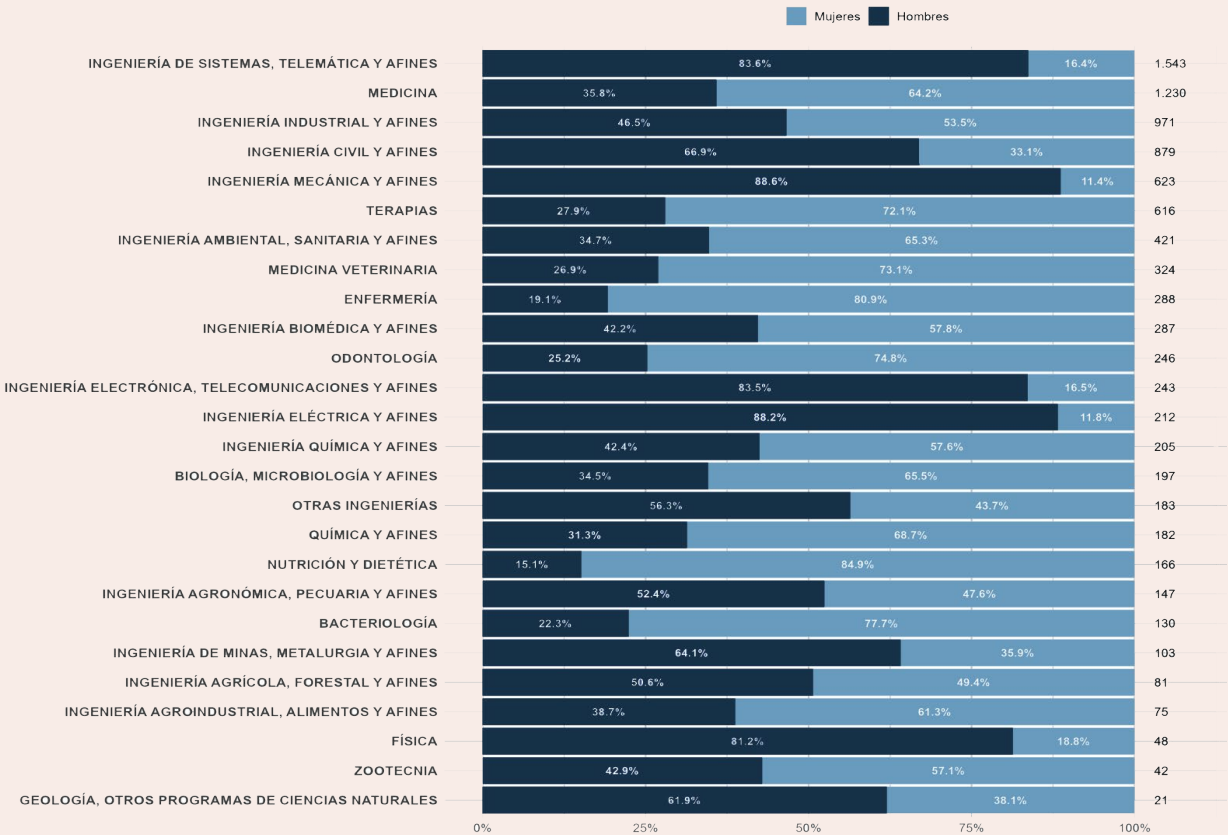
El gráfico 4.12 evidencia diferencias importantes de género entre las distintas áreas de formación de los estudiantes universitarios de Medellín. En términos generales, las mujeres predominan en programas asociados a las ciencias sociales, la salud, la educación y el cuidado, mientras que los hombres tienen una participación mayoritaria en varias ramas de la ingeniería y las ciencias exactas.

Entre las áreas con mayor presencia femenina destacan Artes Representativas (87,5%), Nutrición y Dietética (84,9%), Instrumentación Quirúrgica (81,4%), Enfermería (80,9%), Sociología y Trabajo Social (80,0%) y Psicología (79,3%). También sobresalen programas de alta matrícula como Contaduría Pública (68,0%), Comunicación Social (65,3%),

Medicina (64,2%) y Administración (59,4%), donde las mujeres representan la mayoría de los estudiantes. Por el contrario, las mayores brechas a favor de los hombres se observan en Ingeniería Mecánica (88,6%), Ingeniería Eléctrica (88,2%), Ingeniería de Sistemas (83,6%), Ingeniería Electrónica (83,5%) y Física (81,2%). Estas áreas son precisamente algunas de las más vinculadas al desarrollo tecnológico y la transformación digital.

Desde la perspectiva del ecosistema CTI, la participación femenina en la educación superior es significativa, pero persisten brechas en disciplinas STEM estratégicas, un punto que la lectura del subconjunto STEM (Figura 3.13) permite precisar.

Figura 3.13. Graduados por programa y sexo en Medellín para programas STEM.



Nota: elaboración propia a partir de las pruebas Saber PRO-2024.

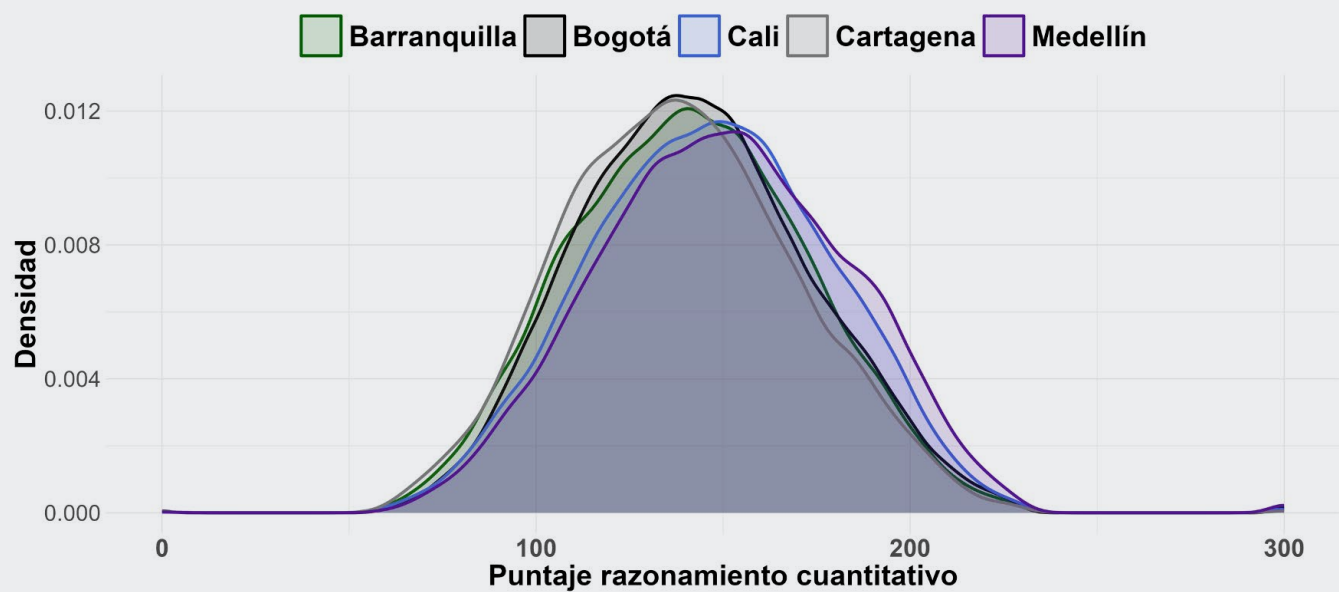
Por su parte, el gráfico 4.13 muestra la distribución por sexo únicamente para los estudiantes de programas STEM en Medellín. Aunque persisten diferencias importantes entre disciplinas, el panorama es más heterogéneo que en el conjunto total de carreras universitarias.

Las mayores brechas a favor de los hombres se concentran en las mismas áreas más masculinizadas del conjunto total, ingeniería mecánica, eléctrica, de sistemas, electrónica y física, todas vinculadas con las tecnologías digitales, la automatización y la industria 4.0. Por el contrario, las mujeres son mayoría en Nutrición y Dietética (84,9%), Enfermería (80,9%), Bacteriología (77,7%), Odontología (74,8%), Medicina Veterinaria (73,1%) y Terapias (72,1%), concentrándose principalmente en campos relacionados con las

ciencias de la salud y el bienestar. Un resultado interesante es que algunas áreas STEM presentan una composición relativamente equilibrada, como Ingeniería Agronómica (47,6% mujeres), Ingeniería Agrícola y Forestal (49,4%) e Ingeniería Industrial (53,5%), lo que sugiere que las brechas de género no son homogéneas dentro del conjunto STEM.

Estos resultados indican que el principal reto de inclusión no está en el acceso general de las mujeres a la educación superior, sino en su participación en las áreas tecnológicas más estratégicas para la transformación digital, especialmente sistemas, electrónica, eléctrica y física. Reducir estas brechas podría ampliar la disponibilidad de talento para sectores intensivos en conocimiento y fortalecer la capacidad innovadora de largo plazo de la ciudad.

Figura 3.14. Distribución de puntajes de razonamiento lógico por ciudad, todas las carreras.



Nota: elaboración propia a partir de las pruebas Saber PRO-2024.

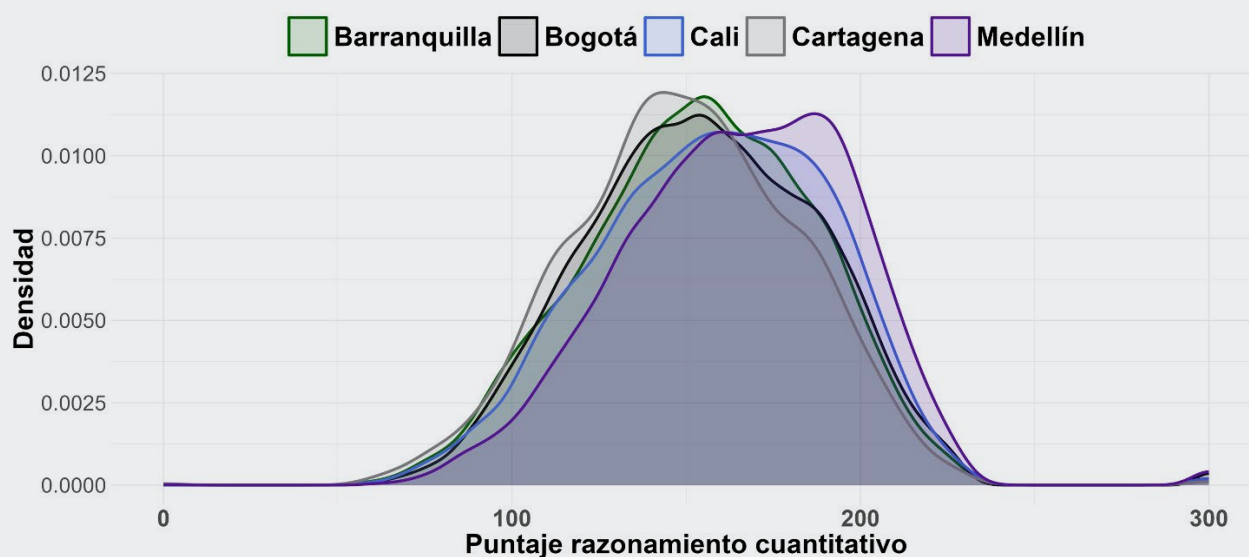
La Figura 3.14 compara la distribución de los puntajes de razonamiento cuantitativo entre las principales ciudades del país. En general, las distribuciones son bastante similares, lo que indica que los estudiantes de las diferentes ciudades tienen niveles de desempeño comparables. Sin embargo, se observan algunas diferencias relevantes.

Medellín y Cali presentan distribuciones desplazadas ligeramente hacia la derecha, lo que sugiere una mayor concentración de estudiantes con puntajes relativamente altos. En particular, Medellín muestra una cola más pronunciada entre los 180 y 220 puntos, indicando una mayor proporción de estudiantes con desempeños sobresalientes en razonamiento cuantitativo.

Por su parte, Bogotá, Barranquilla y Cartagena presentan distribuciones más concentradas alrededor de los puntajes medios (130-160 puntos), con una menor presencia relativa en los niveles más altos de desempeño. Cartagena parece exhibir una concentración ligeramente mayor en la zona central de la distribución, mientras que Barranquilla mantiene un comportamiento muy cercano al promedio nacional de las ciudades analizadas.

Desde la perspectiva del capital humano para la innovación, estos resultados apuntan a una ventaja relativa de Medellín en habilidades cuantitativas, una competencia clave para las áreas STEM, el análisis de datos y la adopción tecnológica, coherente con el peso que tienen en la ciudad los programas de ingeniería y computación.

Figura 3.15. Distribución de puntajes de razonamiento lógico por ciudad, STEM.

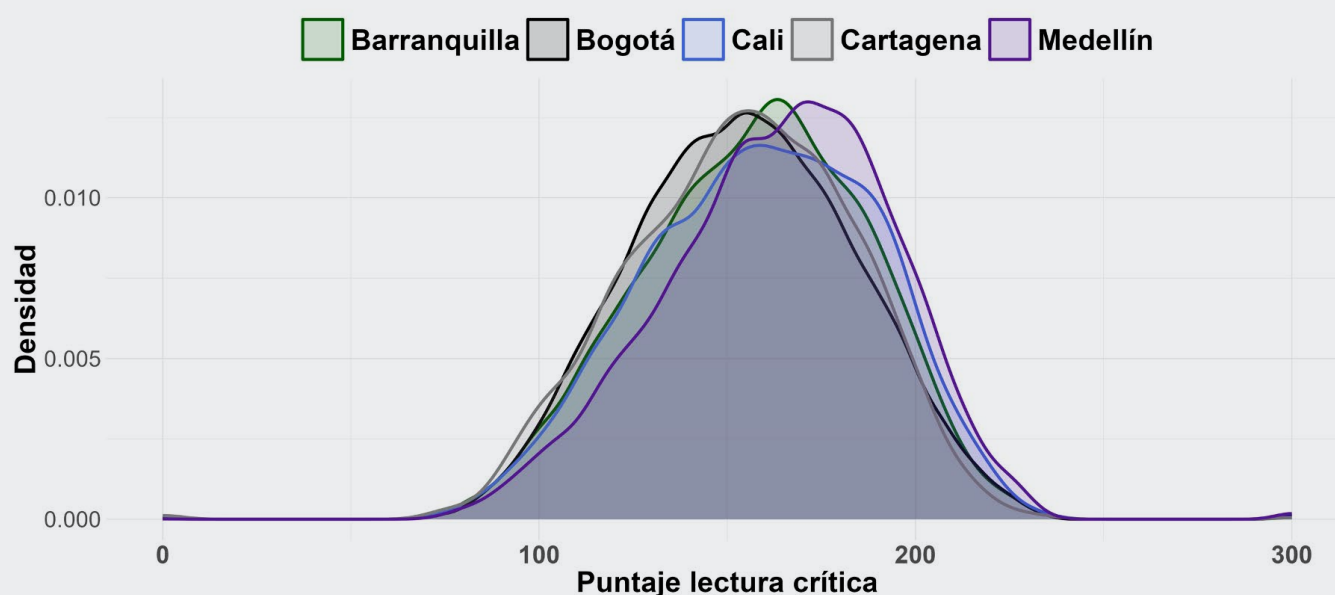


Nota: elaboración propia a partir de las pruebas Saber PRO-2024.

Cuando se analiza únicamente la población STEM como indica la Figura 3.15, las diferencias entre ciudades se hacen más evidentes. La distribución de Medellín aparece claramente desplazada hacia la derecha frente a Bogotá, Barranquilla y Cartagena, lo que indica una mayor concentración de estudiantes STEM con puntajes altos en razonamiento cuantitativo.

Mientras que Bogotá, Barranquilla y Cartagena presentan sus máximas densidades alrededor de los 140-160 puntos, Medellín concentra una mayor proporción de estudiantes entre los 170 y 200 puntos, ubicándose sistemáticamente por encima del resto de ciudades en la parte alta de la distribución. Cali también muestra un desempeño favorable, aunque ligeramente inferior al de Medellín en los niveles más altos.

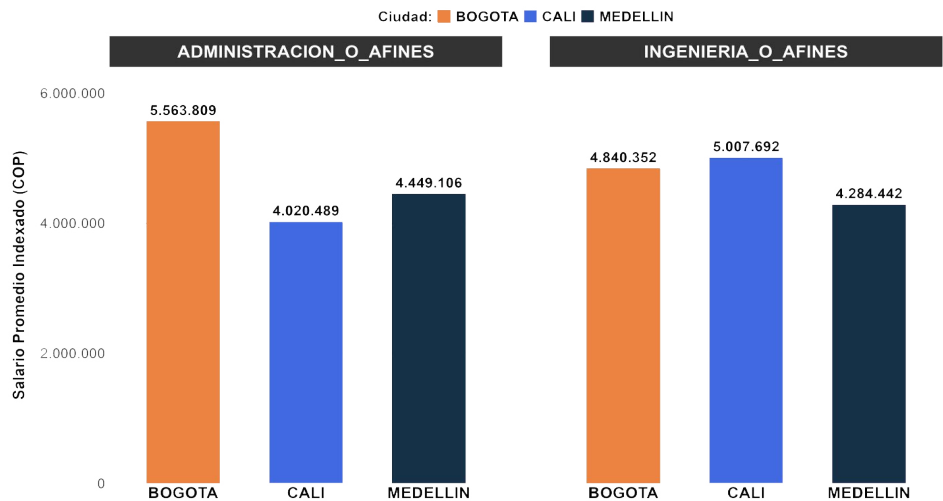
Figura 3.16. Distribución de puntajes de lectura crítica por ciudad, STEM.



Nota: elaboración propia a partir de las pruebas Saber PRO-2024.

4.1.5 Impactos: mercado laboral

Figura 3.17. Salario de enganche promedio por ciudad, universidades, 2024.

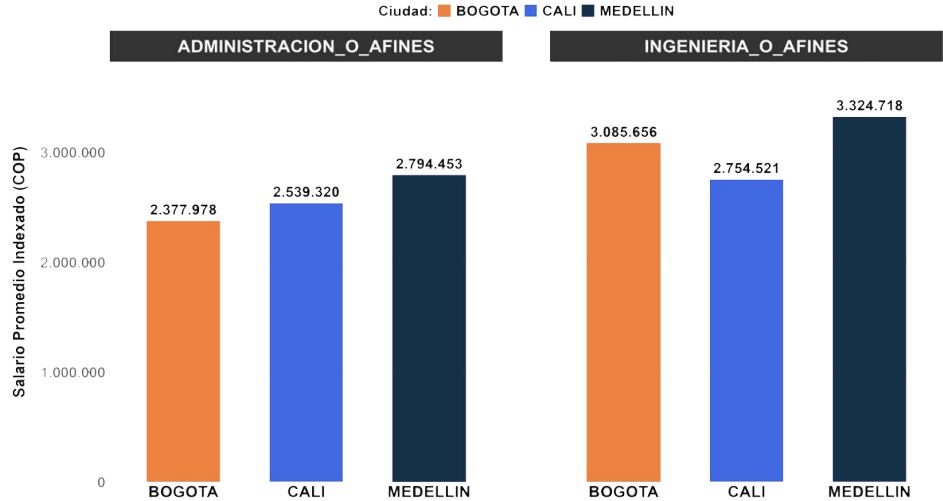


Nota: elaboración propia a partir datos del Observatorio Laboral para la Educación del MEN.

El gráfico muestra que los retornos salariales de las carreras universitarias difieren entre ciudades y áreas de formación. En Administración y afines, Bogotá presenta los salarios promedio más altos (5,56 millones de pesos), seguida por Medellín (4,45 millones) y Cali (4,02 millones), posiblemente en Bogotá asociado al empleo estatal. Por su parte, en

Ingeniería y afines, Cali lidera con un salario promedio de 5,01 millones, seguida por Bogotá (4,84 millones), mientras que Medellín registra el menor valor (4,28 millones). Pese a su amplia oferta de talento universitario, especialmente en STEM, Medellín muestra retornos salariales algo inferiores a los de Bogotá y Cali, sobre todo en ingeniería.

Figura 3.18. Salario de enganche promedio por ciudad, carreras tecnológicas, 2024.



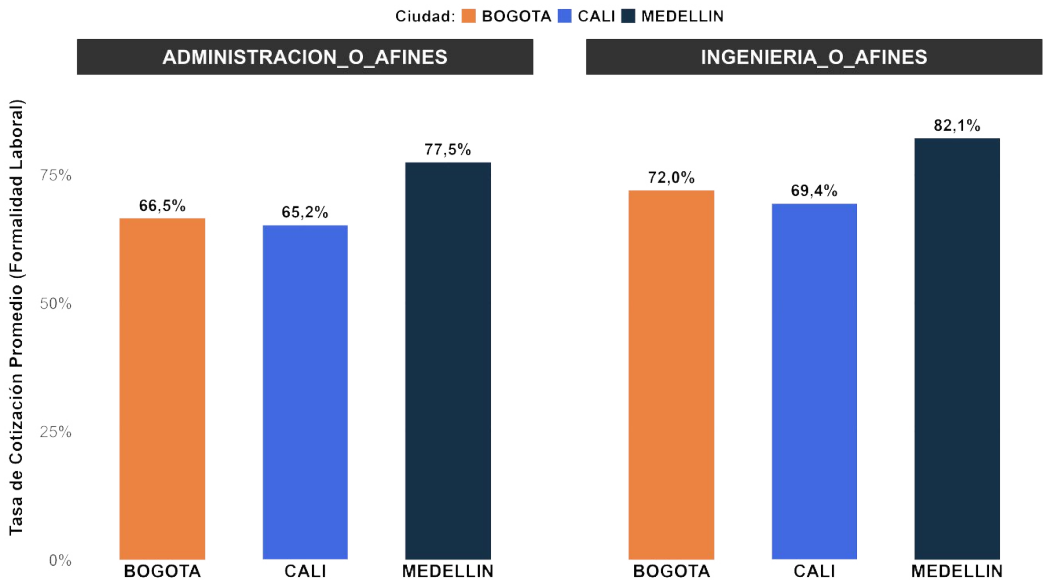
Nota: elaboración propia a partir datos del Observatorio Laboral para la Educación del MEN.

La Figura 3.18 muestra que los retornos salariales de las carreras tecnológicas presentan un patrón diferente al observado en los programas universitarios. En este caso, Medellín registra los salarios de enganche más altos tanto en áreas de administración como de ingeniería. En Administración y afines, el salario promedio alcanza los 2,79 millones de pesos, superando a Cali (2,54 millones) y Bogotá (2,38 millones). De manera similar, en

Ingeniería y afines, Medellín lidera con 3,32 millones de pesos, seguida por Bogotá (3,09 millones) y Cali (2,75 millones).

Medellín ofrece, en cambio, condiciones particularmente favorables para los tecnólogos: no solo demanda este talento, sino que lo remunera mejor, lo que apunta a una articulación más estrecha entre la formación tecnológica y el sector productivo local.

Figura 3.19. Formalidad laboral promedio por ciudad, carreras universitarias, 2024.

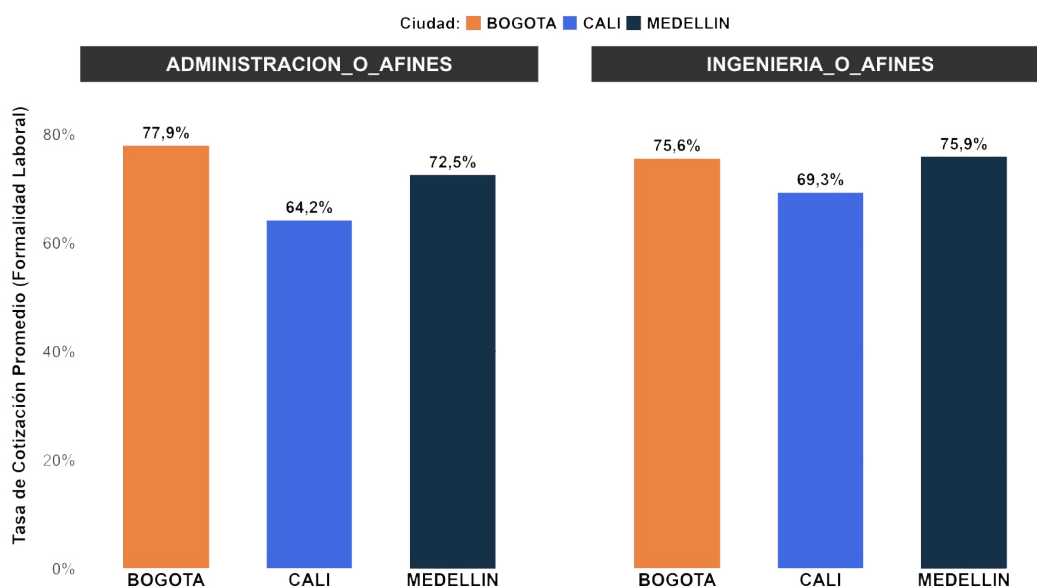


Nota: elaboración propia a partir datos del Observatorio Laboral para la Educación del MEN.

La Figura 3.19 muestra que Medellín presenta los mayores niveles de formalidad laboral para los graduados universitarios en ambas áreas de formación. En Administración y afines, la tasa de cotización promedio alcanza el 77,5%, superando a Bogotá (66,5%) y Cali (65,2%). De manera similar, en Ingeniería y afines, Medellín

registra una formalidad del 82,1%, frente al 72,0% de Bogotá y el 69,4% de Cali. Aunque los salarios de enganche universitarios no siempre son los más altos, la ciudad ofrece una mejor inserción en el empleo formal, con las carreras de ingeniería a la cabeza, señal de una fuerte demanda por talento calificado.

Figura 3.20. Formalidad laboral promedio por ciudad, carreras tecnológicas, 2024.



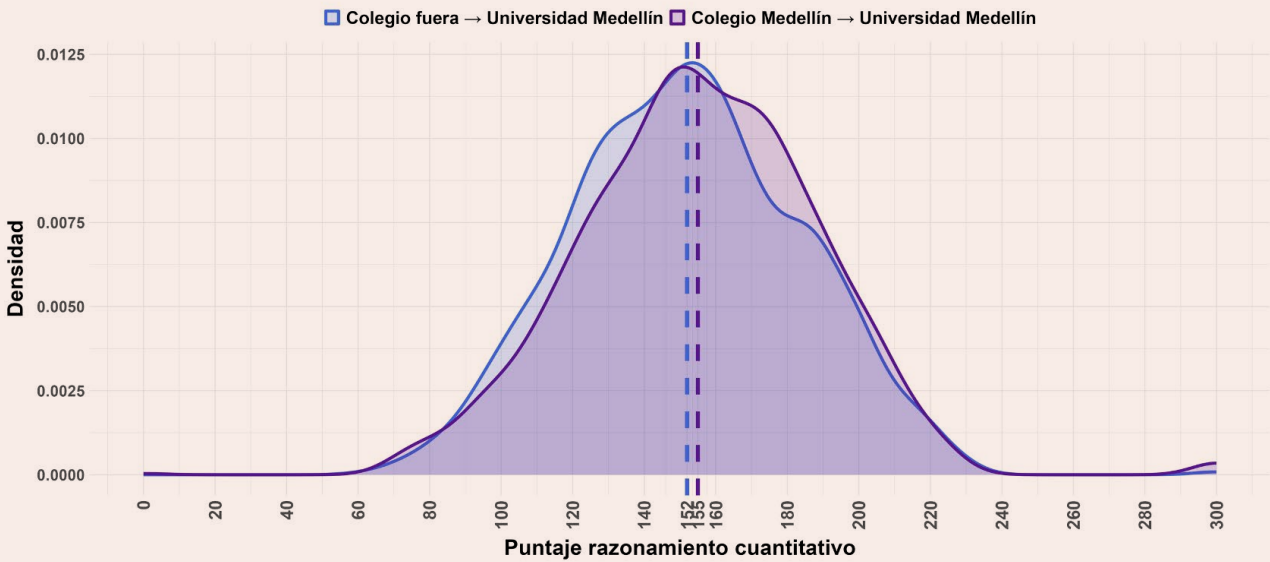
Nota: elaboración propia a partir datos del Observatorio Laboral para la Educación del MEN.

La Figura 3.20 muestra que los niveles de formalidad laboral para los graduados de carreras tecnológicas son elevados en las tres ciudades analizadas, aunque existen diferencias importantes según el área de formación. En Administración y afines, Bogotá registra la mayor tasa de formalidad (77,9%), seguida por Medellín (72,5%) y Cali (64,2%). Por su parte, en Ingeniería y afines, Medellín

alcanza la mayor formalidad (75,9%), muy cercana a Bogotá (75,6%) y por encima de Cali (69,3%). Los tecnólogos de ingeniería encuentran una inserción especialmente favorable en Medellín y los de áreas administrativas en Bogotá; en conjunto, las tres ciudades muestran una alta capacidad de absorción formal de estos egresados.

4.1.6 Talento y migración entre ciudades de origen destino.

Figura 3.21. Distribución de puntajes en razonamiento cuantitativo de estudiantes STEM según origen del colegio (Medellín vs. fuera de Medellín), matriculados en universidades de Medellín, 2024.



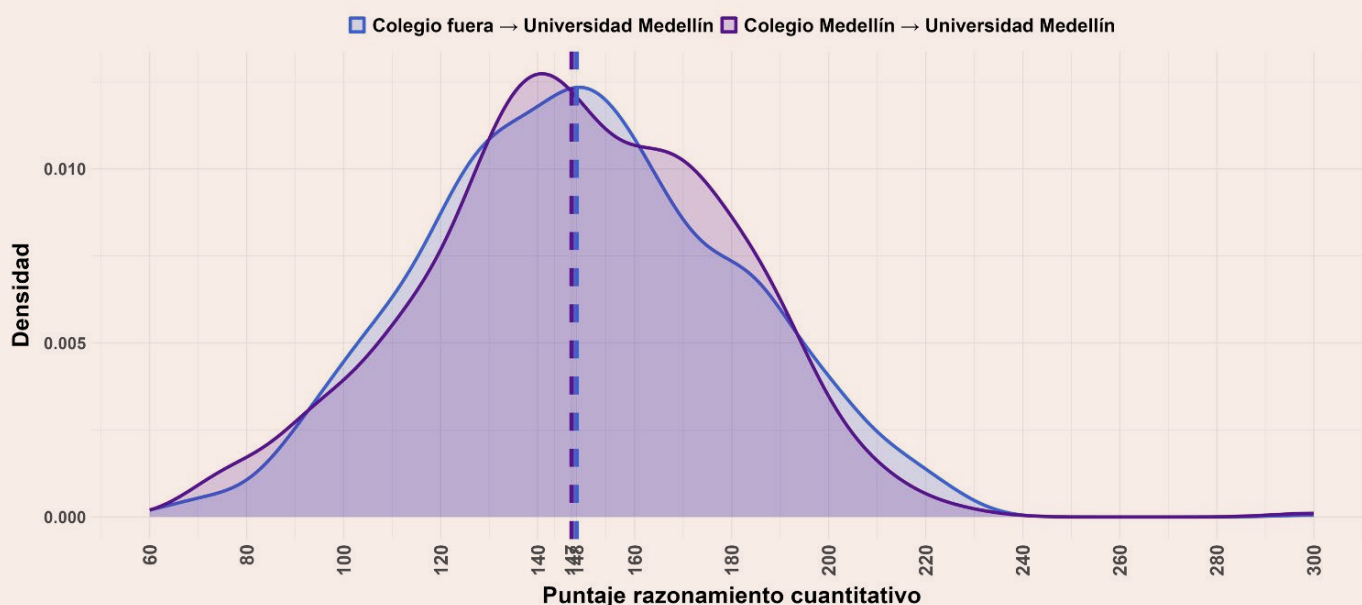
Nota: elaboración propia a partir datos del Observatorio Laboral para la Educación del MEN.

La Figura 3.21 muestra que los estudiantes STEM que cursaron la media en Medellín y luego ingresaron a una universidad de la ciudad obtienen, en promedio, resultados ligeramente superiores en razonamiento cuantitativo frente a quienes provienen de colegios de fuera. Las medias son muy cercanas (155 frente a 152 puntos), pero la distribución de los formados en Medellín se concentra algo

más en puntajes medios-altos (160 a 190), mientras la de los demás municipios pesa más en el rango de 120 a 145.

El amplio traslape entre ambas distribuciones indica que las diferencias son moderadas y que las universidades de Medellín atraen perfiles académicos comparables dentro y fuera de la ciudad.

Figura 3.22. Distribución de puntajes en razonamiento cuantitativo de estudiantes STEM de estratos 1 y 2 según origen del colegio (Medellín vs. fuera de Medellín), matriculados en universidades de Medellín, 2024.

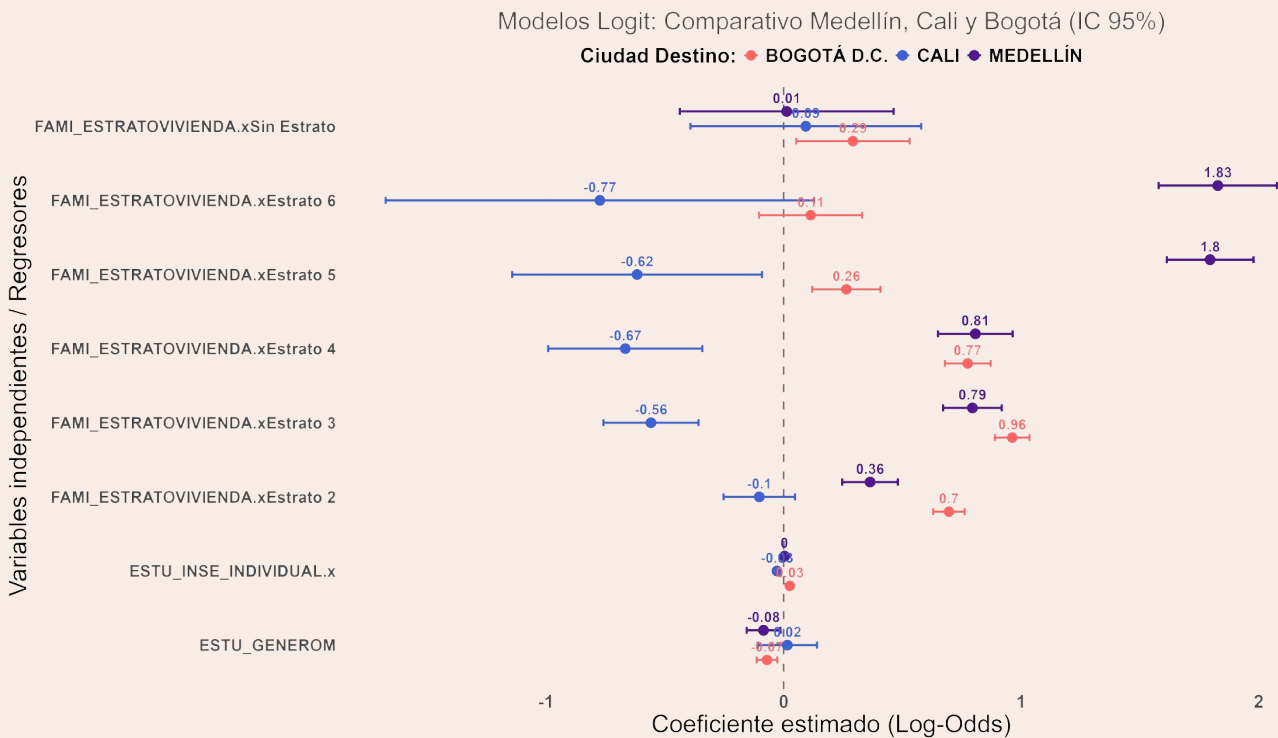


Nota: elaboración propia a partir datos del Observatorio Laboral para la Educación del MEN.

La Figura 3.22 muestra que, entre los estudiantes STEM de estratos 1 y 2 que estudian en universidades de Medellín, las diferencias en razonamiento cuantitativo según el origen del colegio son prácticamente inexistentes: ambos grupos promedian alrededor de 147 a 148 puntos. Aunque los formados en Medellín se concentran algo más entre 160 y 180 puntos y los de otros municipios entre 140 y 150, el amplio traslape revela niveles de desempeño muy similares.

Para los estudiantes de menores ingresos, entonces, el origen geográfico del colegio influye poco sobre las habilidades cuantitativas al ingresar a programas STEM en la ciudad, lo que apunta a una relativa homogeneidad académica entre los más vulnerables que logran acceder.

Figura 3.23. Factores socioeconómicos asociados a la migración universitaria hacia Medellín, Bogotá y Cali, 2024.



Nota: estimación propia a partir de las pruebas SABER 11 (2019) y SABER PRO (2024)

La Figura 3.23 muestra que los factores socioeconómicos asociados a la migración universitaria difieren sustancialmente entre Medellín, Bogotá y Cali. En general, el nivel socioeconómico del hogar es uno de los principales determinantes para migrar hacia Medellín y Bogotá, mientras que en Cali esta relación es más débil e incluso negativa para algunos estratos.

Para Medellín, la probabilidad de migrar aumenta de forma importante con el estrato socioeconómico, con los efectos más altos en los estratos 5 y 6, y el ingreso individual tiene un efecto positivo y significativo. La migración hacia la ciudad está, así, asociada a una mayor capacidad económica. En Bogotá el patrón es similar pero más homogéneo entre estratos: todos los niveles por encima del de

referencia muestran coeficientes positivos y significativos, y el ingreso individual también influye, aunque menos que en Medellín.

Cali, en cambio, se comporta distinto: los coeficientes de los estratos medios y altos son negativos o no significativos y el ingreso individual tiene efecto negativo, lo que indica que los estudiantes con más recursos tienden a preferir otros destinos. El género influye poco en Medellín y Cali, mientras que en Bogotá se observan diferencias sistemáticas por sexo. En conjunto, Medellín y Bogotá funcionan como polos universitarios atractivos para estudiantes de mayores ingresos y estratos altos, mientras Cali capta una población socioeconómicamente más heterogénea y menos dependiente del ingreso del hogar.

4.1.7 Conclusiones a partir de las pruebas estandarizadas y el talento en Medellín

Los resultados muestran que Medellín se consolida como un importante polo de talento universitario y STEM en Colombia. Aunque las áreas gerenciales siguen predominando en la estructura educativa, la ciudad presenta ventajas relativas en habilidades cuantitativas y de lectura crítica entre los estudiantes STEM, así como altos niveles de formalidad laboral para sus graduados. Adicionalmente, Medellín logra atraer estudiantes de otras regiones con niveles de desempeño académico similares a los locales, consolidando su papel como centro de formación avanzada. Sin embargo, persisten desafíos asociados a la baja participación relativa de programas STEM, la escasa presencia de ciencias básicas y las brechas de género en áreas tecnológicas estratégicas. En conjunto, la evidencia sugiere que Medellín cuenta con una base sólida de capital humano para fortalecer su ecosistema de ciencia, tecnología e innovación, aunque requiere continuar ampliando y diversificando su oferta de talento especializado.

4.1.8 Síntesis del bloque de talento

La lectura del talento deja un balance con dos planos. En volumen, Medellín y Antioquia muestran magnitudes menores que Bogotá a lo largo de toda la cadena formativa, matrícula, instituciones y graduados, en parte por la mayor escala de la capital. Pero lo más revelador

no está en los niveles sino en las dinámicas, que son marcadamente diferenciales: a lo largo de la última década la matrícula de la región se mantuvo prácticamente estancada mientras el país y Bogotá crecieron alrededor de un 12%, y en graduados la divergencia de ritmo es todavía mayor. El reto, así, no es tanto de tamaño relativo como de pérdida de impulso, el de un sistema formativo que dejó de expandirse al compás nacional.

El segundo plano, el de la calidad y el perfil, matiza ese diagnóstico con fortalezas. Los estudiantes STEM de Medellín aventajan a los de las demás ciudades principales en razonamiento cuantitativo y lectura crítica; el empleo de sus egresados, sobre todo en ingeniería y en los perfiles tecnológicos, combina alta formalidad y, en el caso de los tecnólogos, mejores salarios de enganche; y atrae estudiantes de otros territorios con desempeños comparables a los locales. No obstante, persisten desafíos claros: solo uno de cada cuatro estudiantes se forma en programas STEM, con escasa presencia de ciencias básicas, y las brechas de género siguen marcadas en las áreas tecnológicas más estratégicas.

El reto de la región es, en suma, menos de tamaño que de impulso y diversificación: sostener y ampliar una base de talento que ya sobresale en calidad pero que dejó de crecer al ritmo del país. Cada uno de esos hallazgos se traduce en una implicación de política y en el instrumento llamado a retomarla, como recoge el cuadro siguiente.

Tabla 3.1. Implicaciones de la dimensión de talento y el instrumento que las retoma.
Elaboración propia.

Implicación derivada del hallazgo	Instrumento que la retoma
Reactivar el acceso y la permanencia para ampliar la base formativa, hoy estancada.	Formación de talento; fortalecimiento institucional
Reorientar la oferta hacia STEM, ciencias básicas y la vocación regional ahora anclada en el Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín	Misiones; formación de talento
Cerrar las brechas de género en las áreas STEM más estratégicas.	Formación de talento
Formar talento para la absorción y la transferencia, no solo para la investigación.	Proyectos I+D; misiones
Usar el Observatorio Laboral como seguimiento de inserción y pertinencia de la formación.	Fortalecimiento institucional (medición)

Fuente: *Elaboración propia.*

4.2 Ciencia

La ciencia, entendida como la generación de conocimiento académico y especializado, constituye el segundo eslabón de la cadena de transferencia: el talento formado no solo se incorpora al tejido productivo, sino que produce conocimiento nuevo susceptible de ser usado por la sociedad. Esta subsección examina las capacidades de investigación de Medellín y Antioquia, los productos científicos que de ellas resultan y el impacto de ese conocimiento, en contraste con el referente nacional y con Bogotá. Después controla esa lectura por la escala, para distinguir lo que es diferencia de tamaño de lo que es diferencia de desempeño, y cierra situando a la región en el mapa mundial de especialización, donde aparece el verdadero margen de mejora.

La lectura combina dos miradas complementarias: el registro nacional de ScienTI (CvLAC y GrupLAC de Minciencias), que cubre a las personas y los grupos por departamento, y SciVal, la herramienta de Elsevier que mide la producción y el impacto a partir de la base de publicaciones Scopus,

agregados por ciudad. La primera describe la base instalada del sistema; la segunda, su proyección global. En ScienTI, los investigadores se cuentan como personas con CvLAC vinculadas a algún grupo de investigación, una sola vez cada una, atribuidas al departamento de su grupo y con vínculo vigente o activo desde 2015. Cuando esta segunda mirada compara ciudades, toma en cada una a las universidades que figuran en el escalafón QS de América Latina, que reúne a las 350 mejores de la región, de modo que se contrastan solo las instituciones de cada ciudad presentes en ese ranking, y no ciudades enteras.

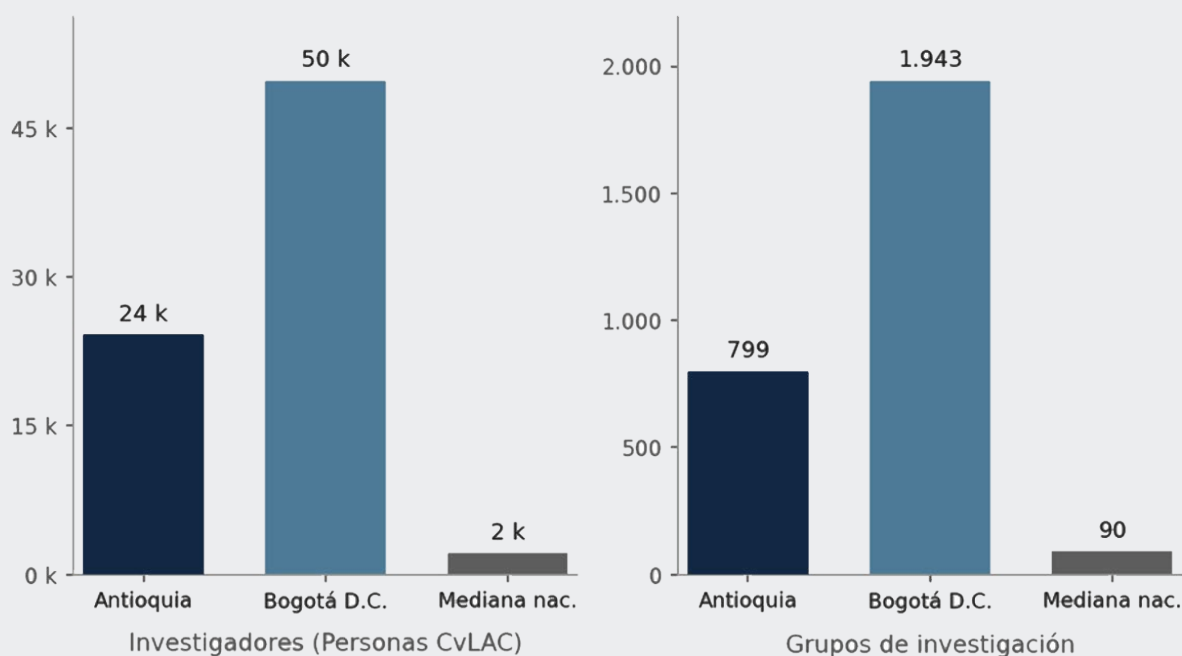
4.2.1 Insumos: capacidad investigativa

La capacidad de investigación se sostiene sobre dos insumos: las personas que investigan y los grupos que las articulan. Antioquia registra cerca de 24.200 investigadores en CvLAC y 799 grupos de investigación, una base que la sitúa como el segundo sistema del país, solo por detrás de

Bogotá, que cuenta con alrededor de unos 49.400 investigadores y 1.943 grupos (2015 en adelante), y muy por encima del tercero, el Valle del Cauca (Figura 3.24). La distancia

frente a Bogotá, de aproximadamente dos a uno, reproduce, como en los demás bloques, una diferencia de escala antes que de capacidad.

Figura 3.24. Investigadores (Personas CvLAC) y grupos de investigación.

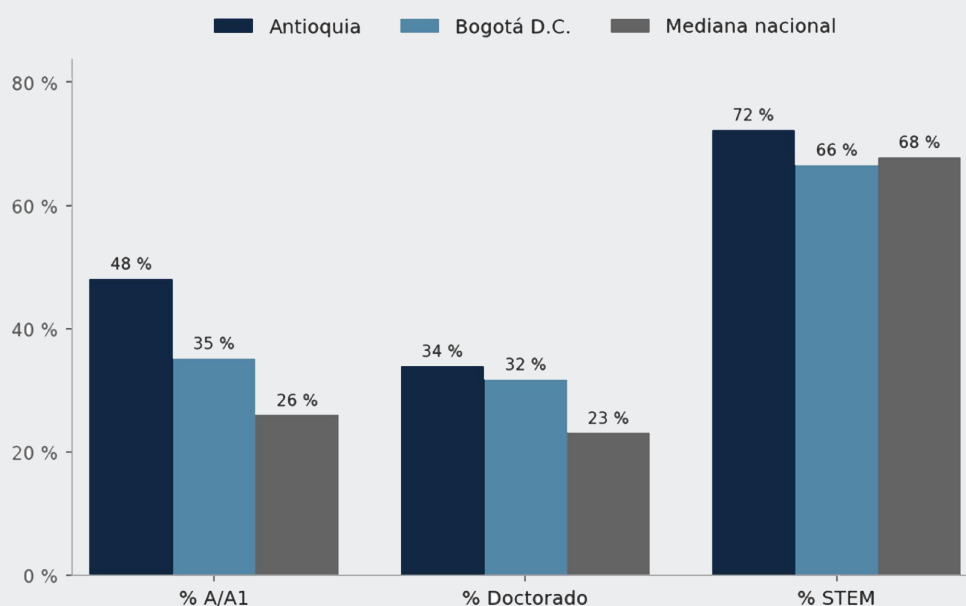


Fuente: ScienTI (Minciencias), cálculos propios. Nivel departamental.

Más revelador que el volumen es el perfil de calidad de esa base (Figura 3.25). Cerca de la mitad de los grupos antioqueños se clasifica en las categorías de mayor calidad, A y A1, una proporción superior a la de Bogotá y muy por encima de la mediana nacional; el peso de los doctores y del talento en campos de

ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas también supera a los de la capital. En otras palabras, la base investigadora antioqueña es más pequeña que la bogotana, pero comparativamente más selectiva y especializada: pierde en tamaño y gana en densidad de excelencia.

Figura 3.25. Calidad de la base investigadora: grupos A/A1, doctores y talento STEM.



Fuente: ScienTI (Minciencias), cálculos propios.

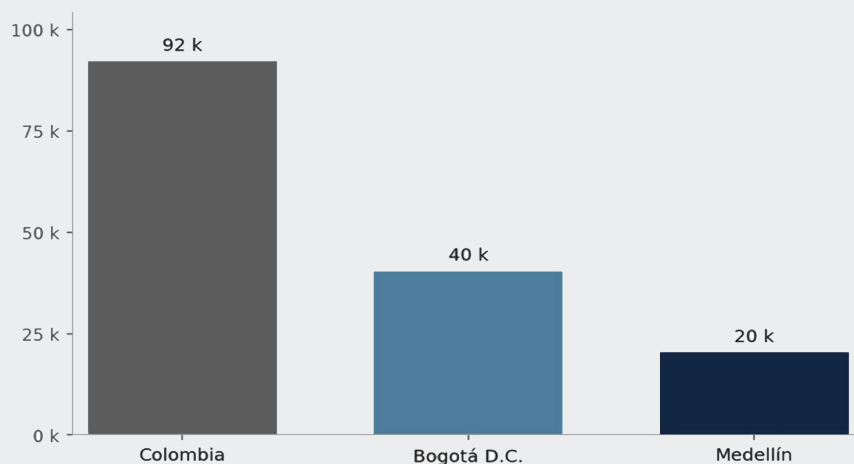
Antioquia es, así, el segundo sistema de investigación del país por tamaño y uno de los primeros por densidad de calidad. La brecha de volumen frente a Bogotá convive con una ventaja antioqueña en los indicadores que no dependen del tamaño, un patrón que se repetirá en cada eslabón de esta subsección.

4.2.2 Productos: producción y especialización temática

Esa base se traduce en una producción científica considerable. En el registro nacional, Antioquia aporta cerca de una quinta parte

de la producción del país y Bogotá algo más de un tercio; medida en publicaciones de Scopus (Figura 3.26), Medellín produce aproximadamente la mitad que Bogotá. En ambas miradas el orden de magnitud es coherente: Bogotá produce alrededor del doble que Medellín, en línea con su mayor base investigadora. La productividad por persona, en cambio, es prácticamente idéntica entre las dos ciudades, y en ambas muy superior a la mediana nacional, una primera señal de que la diferencia es de tamaño y no de rendimiento.

Figura 3.26 Producción científica indexada en Scopus, 2020-2024.

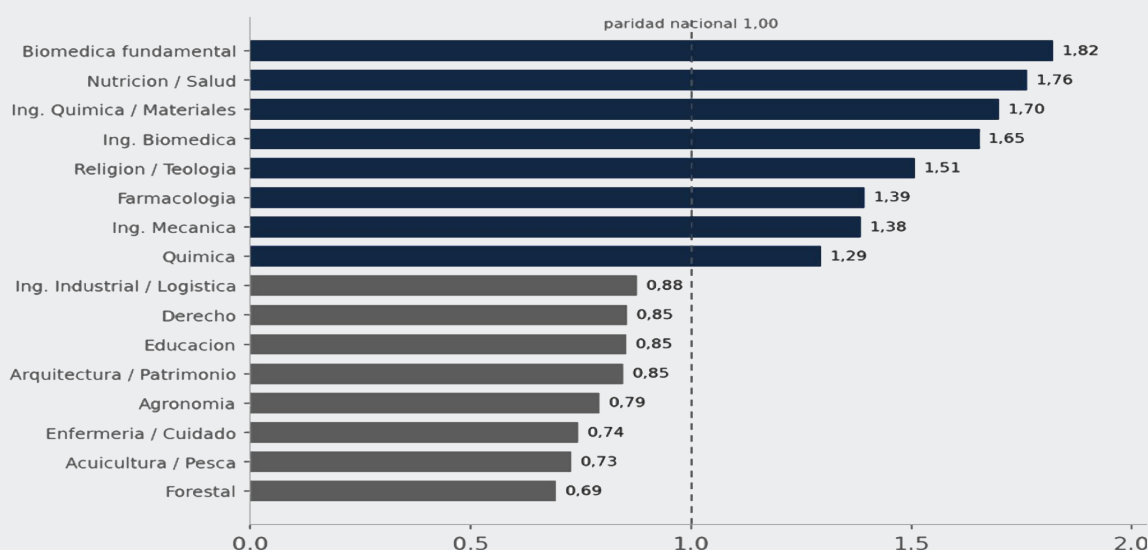


Fuente: SciVal (Elsevier), agregado por ciudad.

El perfil de esa producción se aprecia a través de la ventaja comparativa revelada (RCA), que mide, dentro de la producción del propio departamento, en qué disciplinas Antioquia produce más de lo que le correspondería por su peso nacional. La Figura 3.27 ordena sus ventajas y desventajas: Antioquia se

especializa con claridad en el eje biomédico, químico y de materiales, con sus mayores ventajas en biomedicina fundamental, nutrición y salud e ingeniería química y de materiales, y queda por debajo de la paridad en campos como ingeniería industrial, derecho, educación, agronomía o ciencias forestales.

Figura 3.27. Ventaja comparativa revelada (RCA) de Antioquia por disciplina: principales ventajas y desventajas frente al promedio nacional (1,00 indica paridad).



Fuente: ScienTI (Minciencias), cálculos propios.

Situada en el mapa nacional (Figura 3.28), esa especialización adquiere perspectiva: cada departamento exhibe su propio perfil de ventajas por gran área del conocimiento, y el de Antioquia se inclina hacia las ciencias naturales, la ingeniería y las ciencias médicas, en contraste con el de Bogotá, más fuerte en

ciencias médicas y humanidades, o con el de departamentos pequeños muy especializados en ciencias agrícolas. La especialización no es un más o un menos entre territorios, sino el perfil propio con que cada uno participa en la producción nacional.

Figura 3.28. Mapa de calor nacional de ventaja comparativa revelada (RCA) por departamento y gran área OECD; Antioquia destacada.

	Cs. Sociales	Cs. Naturales	Ing. y Tec.	Cs. Médicas	Human.	Cs. Agríc.
Bogotá	1,01	0,95	0,88	1,15	1,11	0,80
Antioquia	0,90	1,15	1,14	1,12	1,00	0,93
Atlántico	1,14	0,70	0,98	0,88	1,28	0,39
Valle	0,98	0,92	1,06	1,07	1,09	1,10
Santander	0,88	1,07	1,53	1,08	0,82	0,69
Boyacá	1,18	0,86	0,97	0,45	1,05	0,88
Caldas	1,01	0,96	0,98	0,71	1,05	1,80
Bolívar	0,96	1,03	0,91	1,46	0,84	0,57
Risaralda	1,03	0,85	1,30	0,77	1,09	0,83
N. Santander	1,09	0,82	1,38	0,57	0,74	1,03
Cundinamarca	0,90	1,11	0,92	0,87	0,65	3,07
Cauca	1,00	1,12	1,15	0,59	0,95	1,25
Nariño	1,12	0,84	0,78	0,79	0,87	1,57
Tolima	1,14	1,13	0,71	0,31	0,80	1,82
Córdoba	0,94	1,25	0,78	0,84	0,53	2,64

Fuente: ScienTI (Minciencias), cálculos propios.

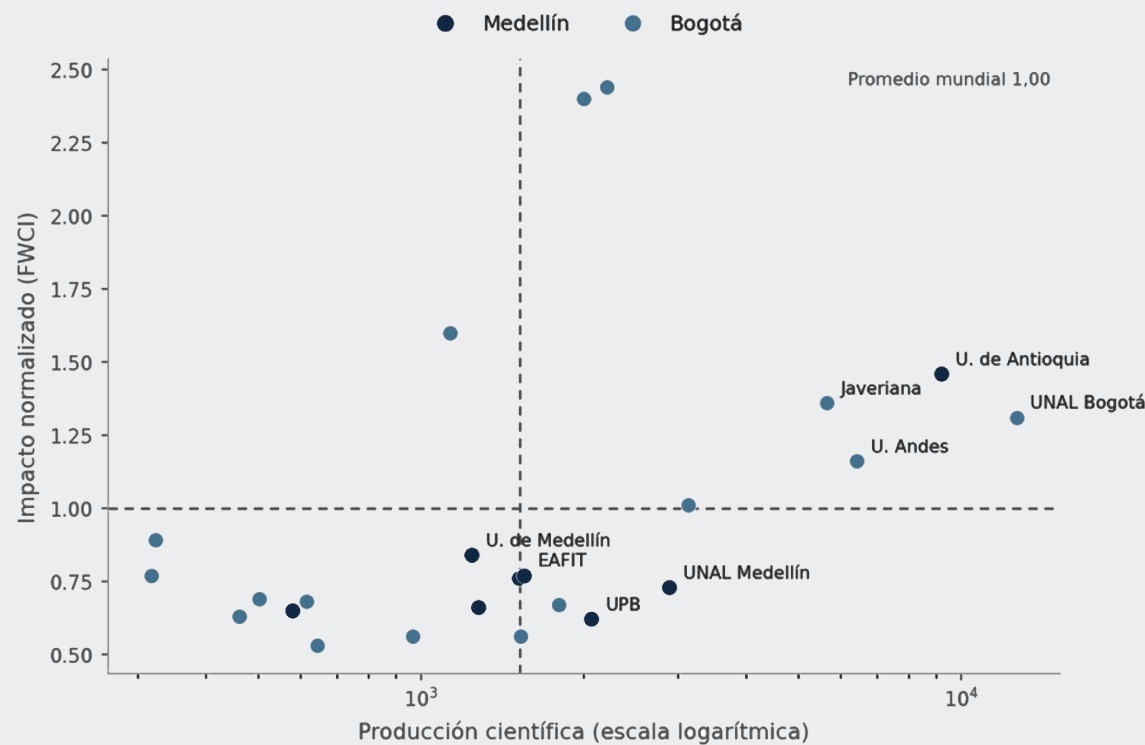
Como en el bloque de talento, el contraste de volumen reproduce la diferencia de escala. La señal propia de Antioquia no está en el tamaño de su producción sino en su especialización, un perfil biomédico, químico e ingenieril que la distingue del resto del país y que es coherente con la orientación hacia las ciencias y la ingeniería, relativa al resto del país, de su base investigadora.

4.2.3 Impacto e internacionalización

El valor último de la investigación no reside en cuánto se produce sino en cuánto se usa. La relación entre volumen y calidad se observa universidad por universidad en la Figura 3.29,

que cruza la producción de cada institución con su impacto normalizado de citación, una medida que compara las citas recibidas con el promedio mundial de cada campo y año, de modo que un valor de 1,00 equivale a ese promedio. La Universidad de Antioquia se sitúa en el cuadrante superior derecho, combinando un alto volumen de producción con un impacto que supera al de todas las universidades bogotanas; otras instituciones de Medellín se ubican aún por debajo del promedio mundial. En el sistema antioqueño sobresale la Universidad de Antioquia, que combina un alto volumen de producción con un impacto de talla nacional, acompañada de otras instituciones que vienen ganando terreno.

Figura 3.29. Volumen frente a calidad: universidades por producción científica (escala logarítmica) e impacto normalizado de citación, 2020-2024.

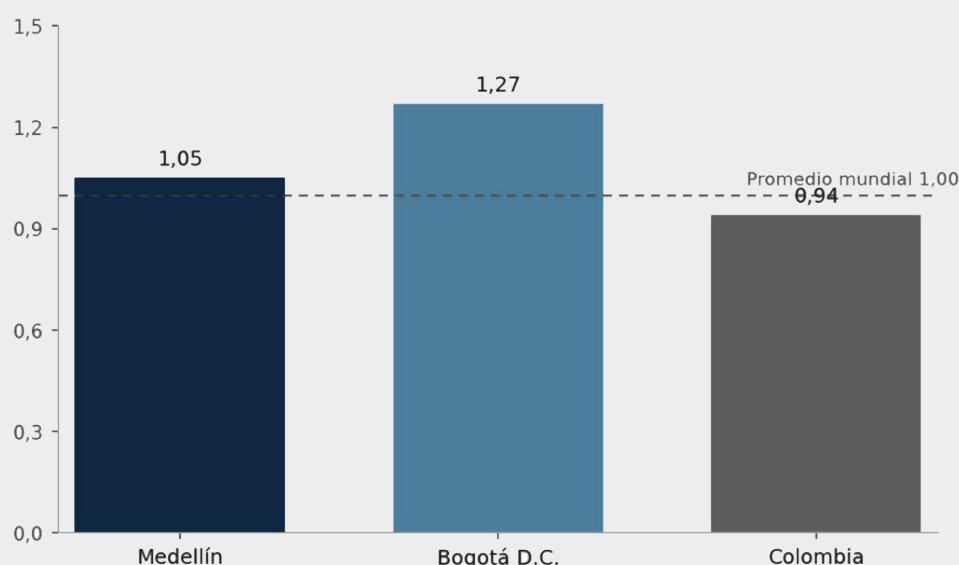


Fuente: SciVal (Elsevier).

Agregado por ciudad (Figura 3.30), tanto Medellín como Bogotá superan el promedio mundial de impacto y, holgadamente, el promedio nacional. Medellín se sitúa apenas por encima del promedio del mundo, por debajo de Bogotá, pero por encima del país, y

en la proporción de publicaciones que figuran entre el 10 % más citado del planeta iguala o supera ligeramente a la capital. La distancia de impacto promedio con Bogotá se explica menos por la calidad y más por el volumen de citación acumulado.

Figura 3.30. Impacto normalizado de la producción, 2020-2024. Fuente: SciVal (Elsevier).



Fuente: SciVal (Elsevier).

Hay, sin embargo, una grieta que esta mirada agregada ya insinúa y que será el eje del análisis posterior: la colaboración internacional. Solo cerca de la mitad de la producción de Medellín está firmada junto a investigadores del exterior, una proporción menor que la de Bogotá e inferior, también, a la del país en su conjunto. A diferencia del volumen, que es cuestión de tamaño, y de

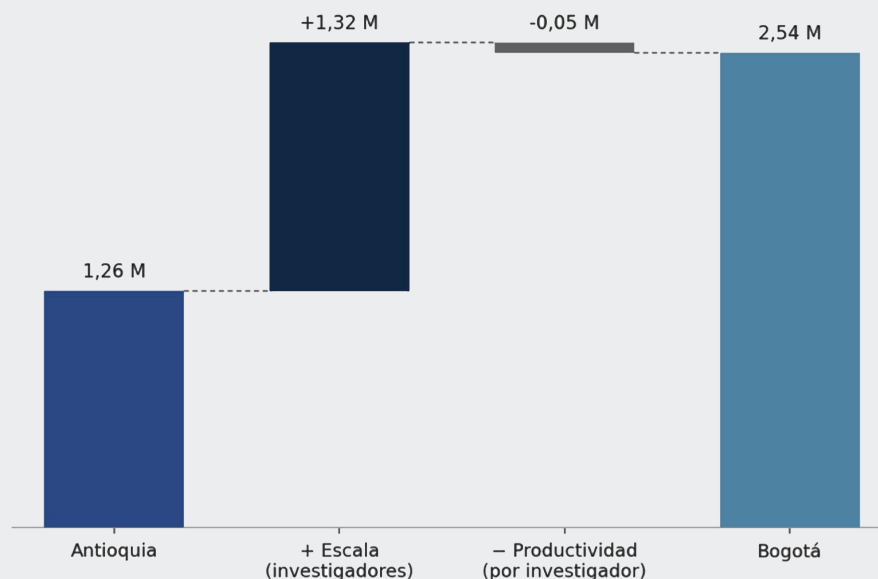
la calidad, que Medellín ya tiene, la conexión con el mundo es un terreno donde la región queda por debajo hasta del país. El impacto, en cambio, es una medida que no depende del tamaño: que la producción de Medellín supere el promedio mundial, y que su universidad insignia lidere en calidad, es una señal que no se explica por lo grande o pequeña que sea la ciudad.

4.2.4 La brecha de volumen, con la escala bajo control

A lo largo de esta sección se ha señalado que la menor producción de Medellín frente a Bogotá responde sobre todo a la escala; conviene ahora comprobarlo de forma directa. Si se descompone la diferencia de productos entre las dos ciudades en dos componentes, uno de tamaño, cuántos investigadores

tiene cada una, y otro de productividad, cuántos productos genera cada investigador, prácticamente la totalidad de la brecha corresponde al componente de tamaño (Figura 3.31). El componente de productividad es incluso ligeramente favorable a Medellín, tanto por investigador como por grupo. La productividad, lejos de explicar la brecha, la reduce.

Figura 3.31. Descomposición de la brecha de productos entre Bogotá y Medellín en componente de escala (número de investigadores) y de productividad (productos por investigador).

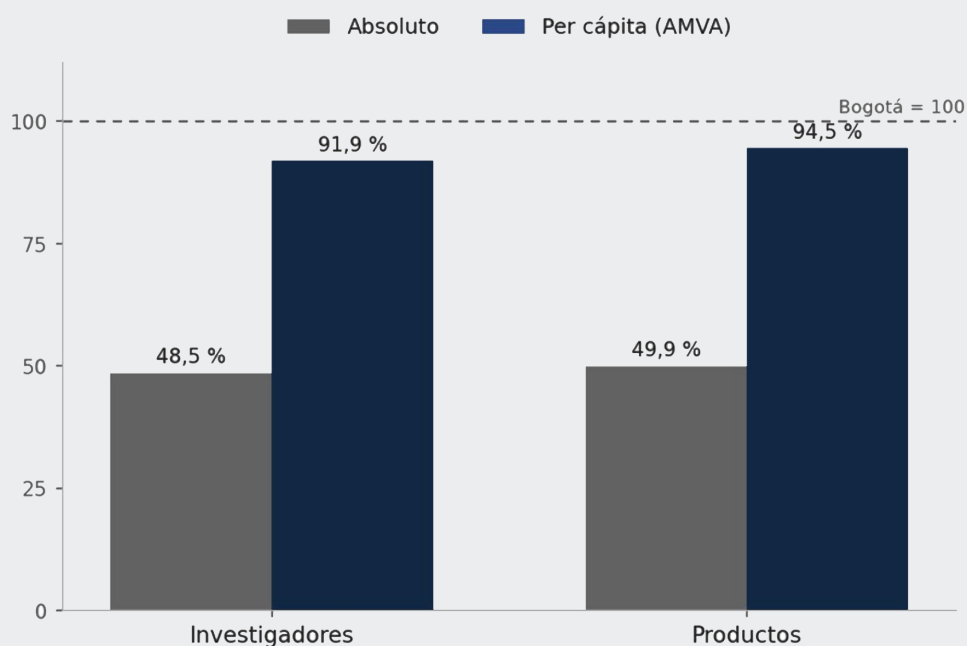


Fuente: ScienTI (Minciencias); cálculos propios.

La misma conclusión se sostiene al normalizar. En términos absolutos, Medellín reúne cerca de la mitad de los investigadores y de los productos de Bogotá; pero al dividir por la población del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, donde se concentra la enorme mayoría de los grupos del departamento, esa distancia casi desaparece y se sitúa por encima del 90 % del valor de Bogotá, tanto en investigadores

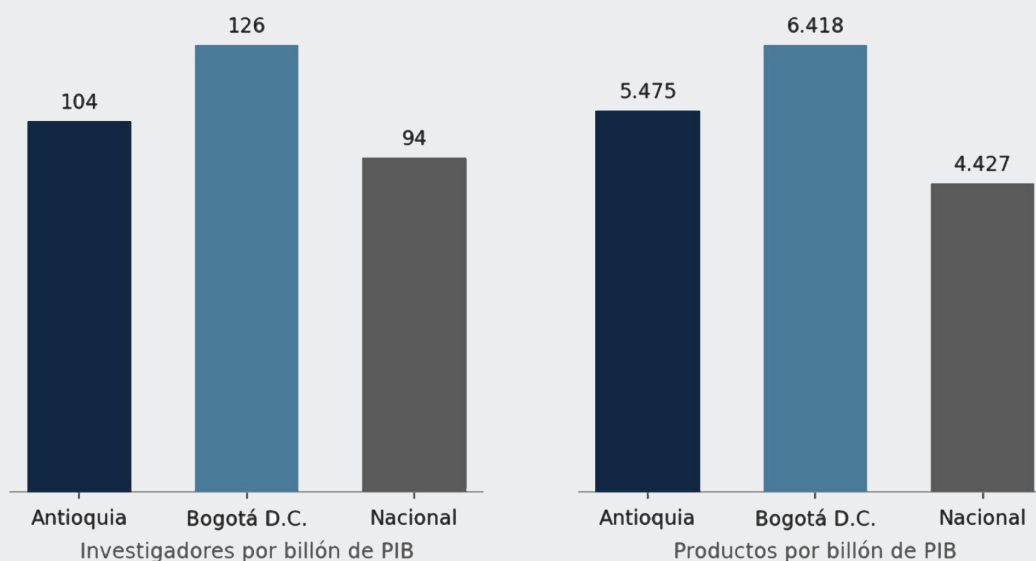
como en productos (Figura 3.32). En densidad por habitante, ambas ciudades quedan muy por encima del promedio nacional y a una distancia modesta entre sí. Y al dividir por el tamaño de la economía, con el PIB departamental, la posición de Medellín frente a Bogotá también se estrecha, aunque algo menos (Figura 3.33).

Figura 3.32. Medellín y AMVA frente a Bogotá en volumen, en términos absolutos y per cápita (Bogotá = 100).



Fuente: ScienTI (Minciencias) y DANE; cálculos propios.

Figura 3.33. Densidad de investigación por unidad de PIB: investigadores y productos por billón de pesos.



Fuente: ScienTI (Minciencias) y DANE (PIB departamental 2023); cálculos propios.

El resultado depende, eso sí, del denominador que se elija. Si se toma la población del área metropolitana, Medellín casi alcanza a Bogotá; si se toma la del departamento entero, la distancia es mayor; y al ponderar por el tamaño de la economía la región queda en un punto intermedio. Más que una cifra única, lo que importa es la dirección, y apunta siempre al mismo lado: bajo cualquier referente razonable, la brecha de dos a uno se reduce hasta volverse pequeña. La conclusión se mantiene: lo que separa a Medellín de Bogotá en volumen es el número de investigadores, no su desempeño. Una sola precisión: como los registros de ScienTI acumulan toda la trayectoria y no solo los años recientes, la comparación de productividad emplea la mediana por investigador, menos sensible a esos acumulados.

4.2.5 El espacio de la ciencia: qué es y qué muestra de Antioquia

En la sección anterior se estableció que la menor producción de Medellín frente a Bogotá es una cuestión de escala y no de desempeño, que su impacto supera el promedio mundial y que su especialización se inclina hacia lo biomédico, lo químico y lo de materiales; también quedó señalada la colaboración internacional como el terreno donde la región queda por debajo incluso del país. Este apartado retoma ese perfil de especialización y lo lleva al mapa mundial de la ciencia para responder tres preguntas que la mirada agregada deja abiertas: qué tan coherentes y articuladas son esas fortalezas, qué tan internacionales resultan una vez puestas en contexto, y hacia dónde podría crecer la región.

Para responderlas, presentemos primero la herramienta. Imaginemos un mapa en el que cada punto es un campo de investigación, como la odontología, la ingeniería química o la inmunología, y en el que dos campos quedan cerca cuando los países fuertes en uno tienden a ser fuertes también en el otro, señal de que se apoyan en capacidades, métodos o talento parecidos. Ese mapa, conocido como espacio

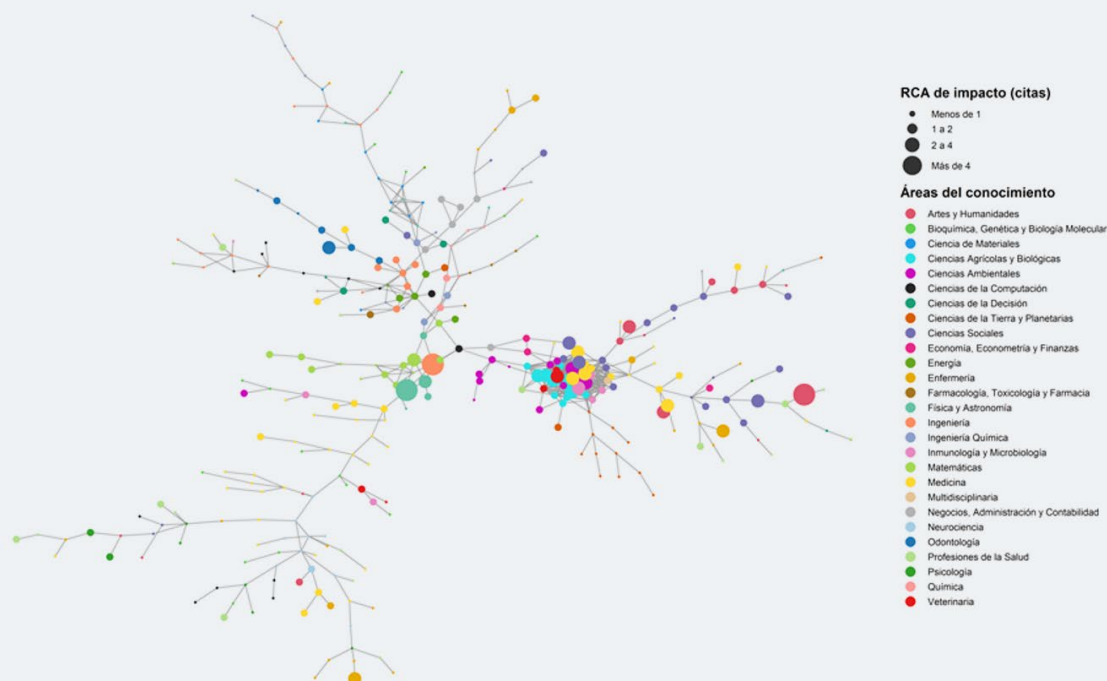
de productos (Hidalgo et al., 2007) y trasladado aquí al ámbito de la investigación bajo la idea de espacio de la ciencia (Guevara et al., 2016), descansa en una premisa de la teoría de la complejidad económica: lo que un sistema logra producir revela las capacidades que posee, y los campos cercanos comparten esas capacidades (Hidalgo y Hausmann, 2009; Hausmann et al., 2014). Se traza a partir del comportamiento de 131 países y sirve de telón de fondo común para ubicar sobre él a cualquier región.

Sobre ese mapa, el tamaño de cada punto indica la fuerza de la especialización de la región en ese campo, medida como ventaja comparativa revelada frente al mundo (Balassa, 1965); el color señala el área del conocimiento; y la cercanía entre puntos, la afinidad de capacidades. La vara es exigente y, sobre todo, distinta de la de la sección anterior: allí la especialización se medía dentro de Colombia, qué produce cada departamento más de lo que le correspondería por su peso nacional, mientras que aquí se mide frente al mundo entero, representado por 131 países; las dos lecturas, por tanto, no son directamente comparables. El periodo analizado va de 2012 a 2025. El universo de cada región lo componen sus universidades presentes en el QS de América Latina, mientras que cada uno de los 131 países se toma completo de SciVal, sin ese recorte.

Visto en el plano nacional, las fortalezas de Colombia se organizan en unos pocos clusters del mapa, sobre todo uno agro-biológico y ambiental y otro biomédico, con presencia menor en algunas ingenierías y químicas (Figura 3.34). Antioquia, dentro de ese marco, dibuja una huella amplia y, sobre todo, coherente (Figura 3.35): sus campos más fuertes no aparecen dispersos, sino agrupados en unos pocos clusters conectados, principalmente uno biomédico y de la salud, otro agro-ambiental y veterinario, y otro químico y de materiales. Es una canasta densa y articulada, no una colección de islas, y eso importa: cuando las fortalezas se vecindan comparten capacidades, y un sistema así puede crecer hacia campos contiguos apoyándose en lo que ya sabe hacer.

Figura 3.34. Colombia: especialización por impacto (citas) frente al mundo. El tamaño del punto indica la fuerza de la especialización (RCA por impacto) y el color, el área del conocimiento.

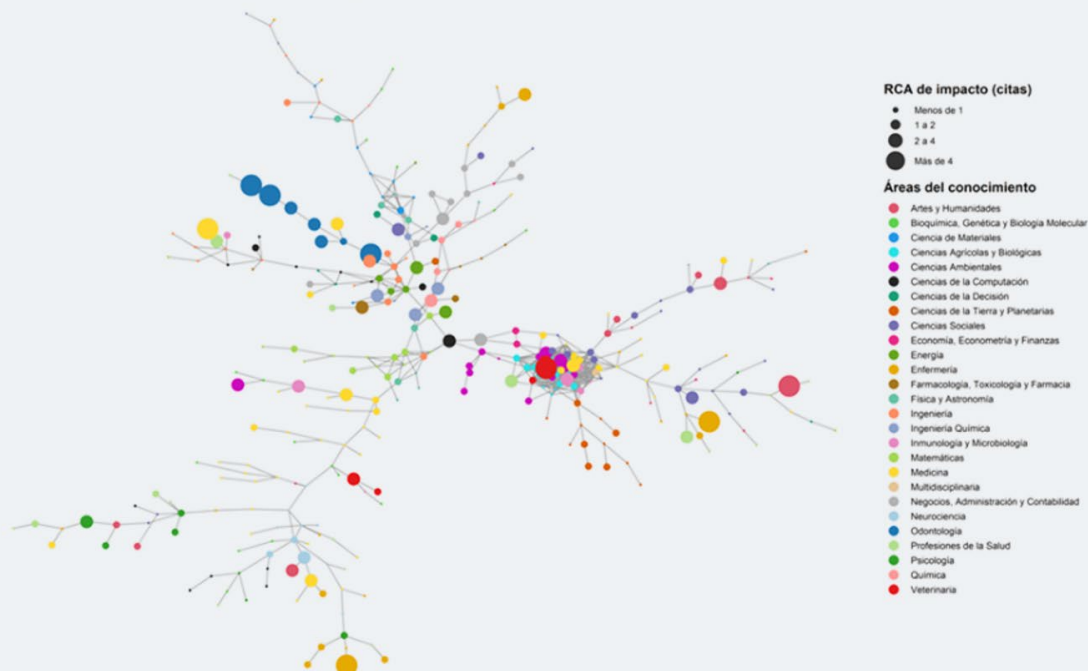
Colombia — Especialización por impacto (citas) vs MUNDO



Fuente: SciVal/Scopus; cálculos propios.

Figura 3.35. Medellín y Antioquia: mapa de fortalezas de investigación frente al mundo. El tamaño del punto indica la fuerza de la especialización (RCA) y el color, el área del conocimiento.

Antioquia (región) — Especialización por impacto (citas) vs MUNDO



Fuente: SciVal/Scopus; cálculos propios.

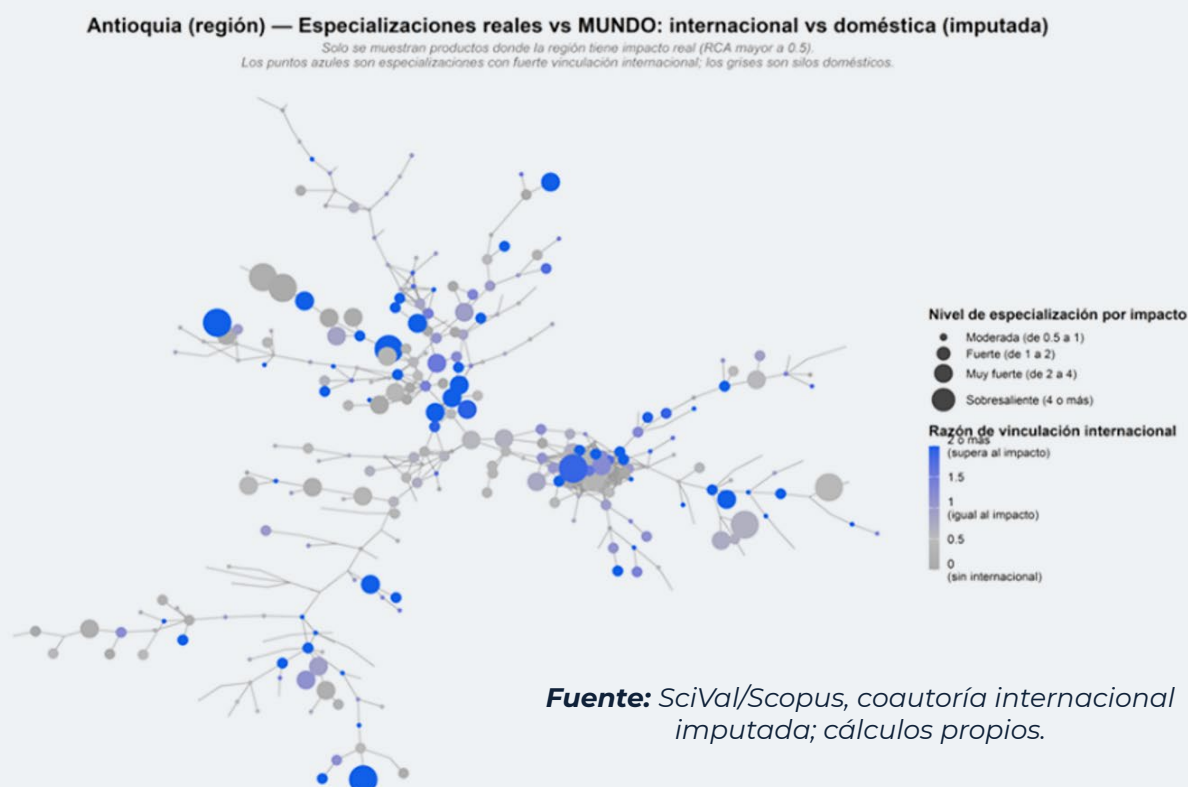
Esa coherencia es, además, la que responde la pregunta de hacia dónde crecer, porque en este mapa la cercanía predice la diversificación (Hidalgo et al., 2018). Los campos más próximos a las fortalezas actuales de Medellín, los que están a un paso y donde todavía no es especialista, se concentran en lo agro-biológico y lo clínico adyacente, con ejemplos como las ciencias del suelo, de las plantas y del agua, o la medicina general, la obstetricia, la nutrición y la inmunología general. Son apuestas de diversificación de bajo riesgo, porque se apoyan en capacidades que la región ya tiene y que, por la coherencia de su canasta, están justo al lado de las actuales; y dibujan una vocación nítida que entrelaza salud, ambiente y producción agro-biológica.

4.2.6 La internacionalización de las fortalezas: cómo se lee y cómo no

Una segunda capa del mismo mapa mira esas fortalezas desde la internacionalización (Wagner

y Leydesdorff, 2005; Adams, 2013). Para cada campo se calculan dos ventajas comparativas reveladas frente al mundo: una por impacto, a partir de las citas que recibe la producción de la región, y otra por colaboración internacional, a partir de la fracción de esa producción firmada con coautores del exterior. Comparar ambas indica si un campo se sostiene más por su conexión global o por su peso local: cuando la ventaja por colaboración internacional supera a la ventaja por impacto, el campo se considera mayormente internacional y se pinta de azul; cuando ocurre lo contrario, funciona como un silo doméstico y se pinta de gris; y cuando van parejas, está balanceado. El mapa de las especializaciones reales de Medellín, coloreado de esa forma (Figura 3.36), muestra una mezcla genuina: zonas azules de fuerte vinculación internacional conviven con silos grises de alto impacto, sin que ninguno de los dos domine por completo.

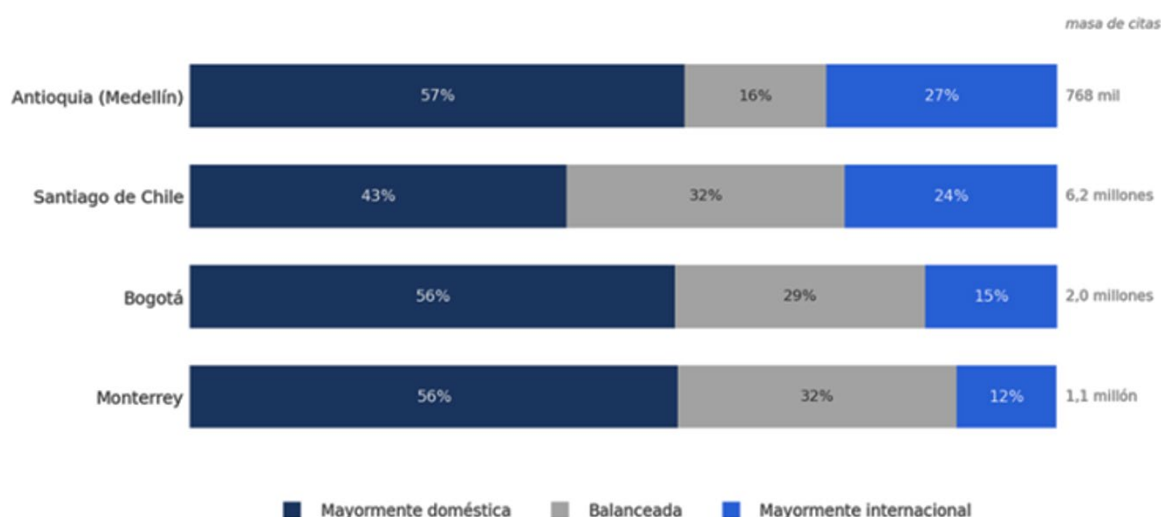
Figura 3.36. Medellín y Antioquia: especializaciones reales (impacto por encima del promedio mundial) coloreadas por vinculación internacional. Azul, la coautoría internacional supera al impacto; gris, silo doméstico.



El mapa, sin embargo, se presta a tres malentendidos. El primero es leer la cantidad de azul como si midiera la internacionalización del sistema: cada campo ocupa un punto del mismo tamaño, sin importar cuánta producción concentre, de modo que muchos campos pequeños y azules pueden sugerir más apertura de la que hay; para saber qué tan conectado al mundo está lo que la región produce hay que ponderar por la masa de citas (Figura 3.37). El segundo es tomar al pie de la letra la etiqueta de cada subcampo: el reparto entre doméstico e internacional se apoya en una imputación de la coautoría, sólida en el agregado, pero solo orientativa en el detalle fino, de modo que algunos campos de colaboración mundial muy intensa, como la física de altas energías o la astronomía, pueden aparecer como domésticos sin serlo. El tercero es confundir este indicador con la tasa bruta de coautoría internacional: aquí se mide, campo por campo, el sesgo entre internacionalización e impacto, algo distinto de la proporción total de producción co-publicada con el exterior que reporta SciVal, donde Medellín, con cerca del 45%, queda algo por debajo de Bogotá y del país. Son dos miradas complementarias.

Ponderada por masa de citas (Figura 3.37), y comparando a Medellín con Bogotá y con dos referentes latinoamericanos de ciencia e innovación de tamaño afín, Monterrey y Santiago de Chile, la lectura se ordena. Las cuatro ciudades concentran la mayor parte de su masa en campos de inclinación doméstica, en torno al 56%, con una sola excepción: Santiago de Chile, donde lo doméstico baja al 43% y casi un tercio de su masa está en campos balanceados, en los que el impacto y la internacionalización van parejos. Medellín, lejos de ser un sistema cerrado, exhibe la mayor proporción de masa en campos mayormente internacionales de las cuatro, cerca del 27%, por encima incluso de Santiago; su perfil es más bimodal, con fortalezas muy internacionales junto a otras muy domésticas y poco en el medio. Puestos los nombres, sus fortalezas internacionales con masa real incluyen las energías renovables, la física de materia condensada, las enfermedades infecciosas y la química teórica, mientras que en el lado doméstico, donde el impacto no se acompaña de redes internacionales, aparecen sobre todo subcampos aplicados o clínicos, como la otorrinolaringología y la odontología asistencial.

Figura 3.37. Distribución de la masa de citas de cada región según la inclinación de sus campos: mayormente doméstica, balanceada o mayormente internacional.

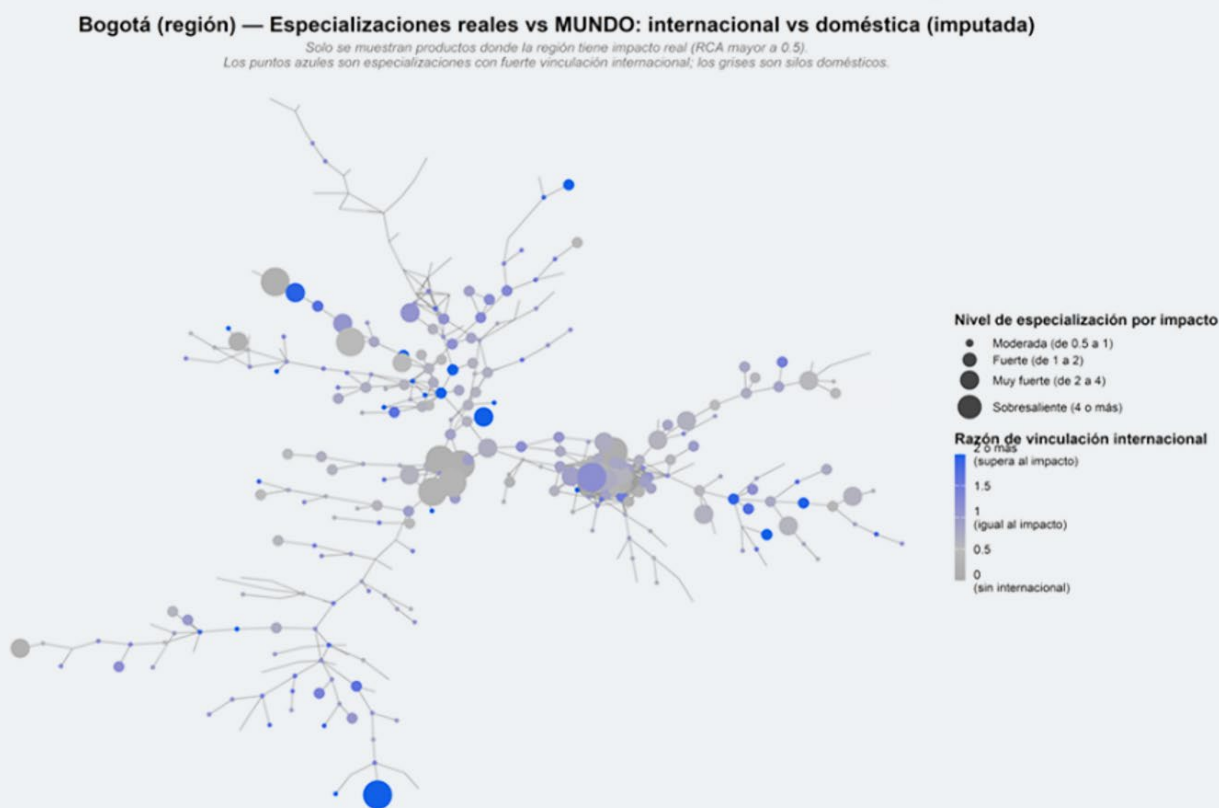


Fuente: SciVal/Scopus; cálculos propios.

Los mismos mapas para las otras ciudades hacen visible esa lectura (Figuras 4.38 a 4.40). En Bogotá, sus mayores especializaciones, en física y en medicina, aparecen como grandes silos grises, en parte por el artefacto de imputación en la física de gran colaboración; Monterrey muestra un patrón parecido, con su núcleo de gestión e ingeniería más doméstico que internacional; y Santiago reparte de forma más pareja entre azul y gris, además de operar

a una escala muy superior. Frente a ese espejo, Medellín no es la más cerrada, sino la de mayor proporción internacional, aunque a menor escala. La diferencia estructural es Santiago, la única cuya masa no está mayoritariamente en lo doméstico; la corrección atañe a Bogotá y a Monterrey, que resultan, en proporción, las menos inclinadas a lo internacional, por debajo de Medellín.

Figura 3.38. Bogotá: especializaciones reales por vinculación internacional (azul) o doméstica (gris).



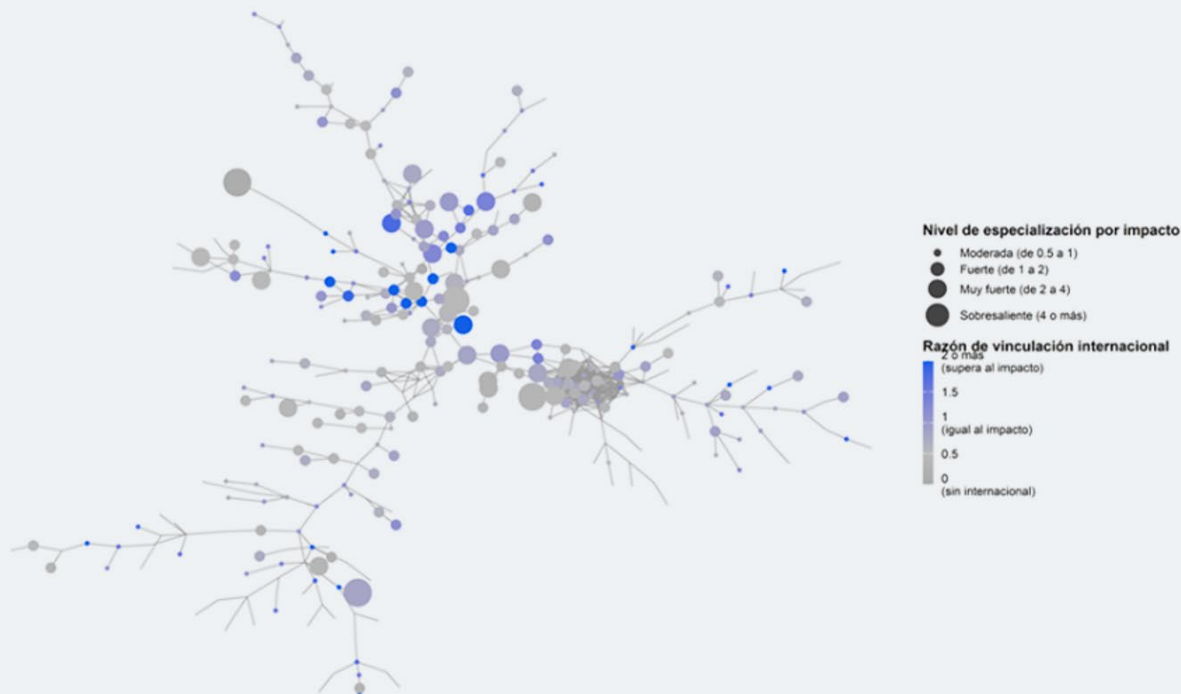
Fuente: SciVal/Scopus, coautoría internacional imputada; cálculos propios.

Figura 3.39. Monterrey: especializaciones reales por vinculación internacional (azul) o doméstica (gris).

Monterrey (región) — Especializaciones reales vs MUNDO: internacional vs doméstica (imputada)

Solo se muestran productos donde la región tiene impacto real (RCA mayor a 0.5).

Los puntos azules son especializaciones con fuerte vinculación internacional; los grises son silos domésticos.



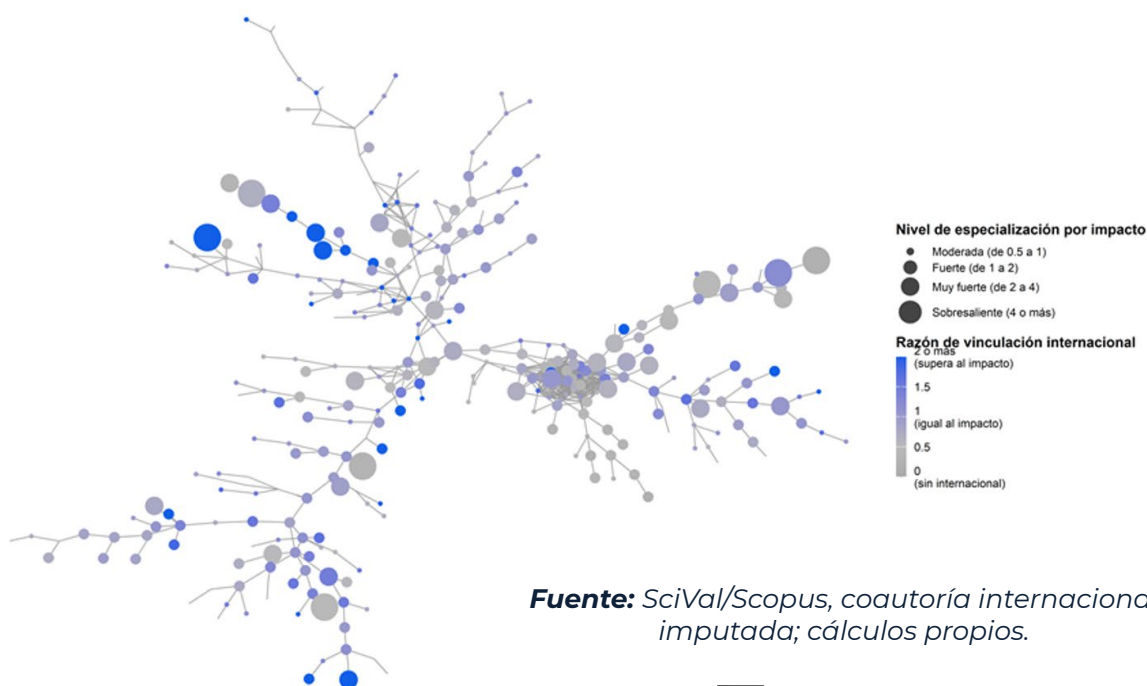
Fuente: SciVal/Scopus, coautoría internacional imputada; cálculos propios.

Figura 3.40. Santiago de Chile: especializaciones reales por vinculación internacional (azul) o doméstica (gris).

Santiago de Chile (región) — Especializaciones reales vs MUNDO: internacional vs doméstica (imputada)

Solo se muestran productos donde la región tiene impacto real (RCA mayor a 0.5).

Los puntos azules son especializaciones con fuerte vinculación internacional; los grises son silos domésticos.



Fuente: SciVal/Scopus, coautoría internacional imputada; cálculos propios.

De esta lectura se desprenden prioridades más matizadas que un simple conectarse más. En lo internacional, Medellín parte de una posición razonable, con una franja amplia de fortalezas ya globales que vale la pena proteger y escalar, como las energías renovables, las enfermedades infecciosas o la química, y un lado doméstico de alto impacto, como la otorrinolaringología, que podría ganar proyección con acuerdos de coautoría internacional. En paralelo, la frontera agro-bio-clínica ofrece un camino de crecimiento de bajo riesgo. La calidad y la coherencia ya están; el margen está en escalar y en equilibrar.

4.2.7 Síntesis del bloque investigación

En investigación, Antioquia se confirma como el segundo sistema del país, y leído con la escala bajo control el diagnóstico se aclara: la brecha de volumen frente a Bogotá es casi enteramente de tamaño, no de desempeño, porque por investigador y por habitante Medellín está a la par, y en densidad de calidad la aventaja. El mapa mundial añade un perfil de especialización coherente, con eje biomédico, químico y ambiental, y una internacionalización mixta: mayoritariamente doméstica en masa, como en

casi todas las ciudades comparadas, pero con la franja internacional más amplia de las cuatro y núcleos globales de peso, como las energías renovables o las enfermedades infecciosas. A ello se suma que buena parte de la excelencia descansa todavía en unas pocas instituciones, algo por equilibrar ampliando la base del sistema. La prioridad, más que crecer en tamaño, está en escalar las fortalezas que ya tiene, equilibrar su internacionalización y diversificar sobre una frontera agro-bio-clínica afín a su vocación.

Para volver operable esa prioridad, las fortalezas reveladas pueden mapearse a los sectores o retos donde tienen demanda y a su potencial de transferencia, Catalán, Navarrete y Figueroa (2022) muestran que la diversificación tecnológica está impulsada por la capacidad científica endógena a través de la densidad cruzada, la proximidad media de una tecnología candidata al portafolio científico y tecnológico de un territorio. Llevado a Medellín, el potencial de transferencia más alto no está donde la región es fuerte en ciencia en abstracto, sino donde sus fortalezas científicas, su perfil de patentes y la demanda productiva se solapan, porque allí la relatedness predice el salto de la ciencia a la tecnología y al mercado. La siguiente tabla formula un posible criterio de priorización.

Tabla 4. Relectura de la priorización como proximidad cruzada ciencia, tecnología y demanda.

Capacidad con ventaja (Antioquia)	Fortaleza científica (espacio de la ciencia)	Proximidad al perfil tecnológico (patentes)	Demanda productiva (vocación del Plan)
Ciencias biomédicas y de la salud	Alta	Alta, salud concentra el patentamiento	Salud, biotecnología y ciencias de la vida
Química y ciencia de materiales	Alta	Alta, segundo frente de patentes	Industria avanzada y manufactura inteligente
Ciencias ambientales y agro-bio	Media-alta	Media	Transición energética y sostenibilidad
TIC y computación	Media	Media, adopción rápida	Transformación digital y economía de datos
TIC y computación	Software, datos, ciudad inteligente		Medio: adopción rápida, creación de startups

Fuente: Elaboración propia a partir del marco de “relatedness”.

4.3 Tecnología

La tecnología recoge la capacidad del sistema para convertir el conocimiento en desarrollos aplicables y en activos de propiedad intelectual: software, prototipos y, de manera destacada, patentes. Es el eslabón donde el conocimiento se acerca a su uso económico, y conviene considerarlo como un embudo de maduración, una cadena que va de la capacidad de desarrollar a la de proteger, y de ahí a la de llegar al mercado. La tesis que recorre esta subsección es que Medellín es fuerte en la parte alta de ese embudo y que su valor se va filtrando en cada etapa hacia abajo.

Antes de leer los indicadores, vale precisar tres momentos que suelen confundirse: proteger, transferir y adoptar. La protección se observa aquí sobre todo a través de la patente, que es solo una de varias formas de producto tecnológico, pero resulta especialmente representativa, por el esfuerzo que exige, por el grado de novedad y disrupción que debe alcanzar para su concesión y por su potencial de licenciarse y difundirse luego en el ecosistema; aun así, tecnología no es igual a patente. La transferencia tecnológica es el proceso que mueve esa tecnología desde quien la crea hacia quien la usa, mediante licenciamiento, spin-offs o contratos, y constituye el hilo que recorre todo el diagnóstico, no una métrica interna de este bloque. La adopción, en cambio, es el uso efectivo de la tecnología por parte de las empresas y el mercado, y por su naturaleza pertenece al terreno de la innovación y de la capacidad de absorción, que se analiza en la dimensión de innovación.

La distinción importa para leer bien los resultados. Una patente concedida revela capacidad de generar y proteger invención, pero no equivale, por sí misma, a una tecnología transferida ni a una solución adoptada.

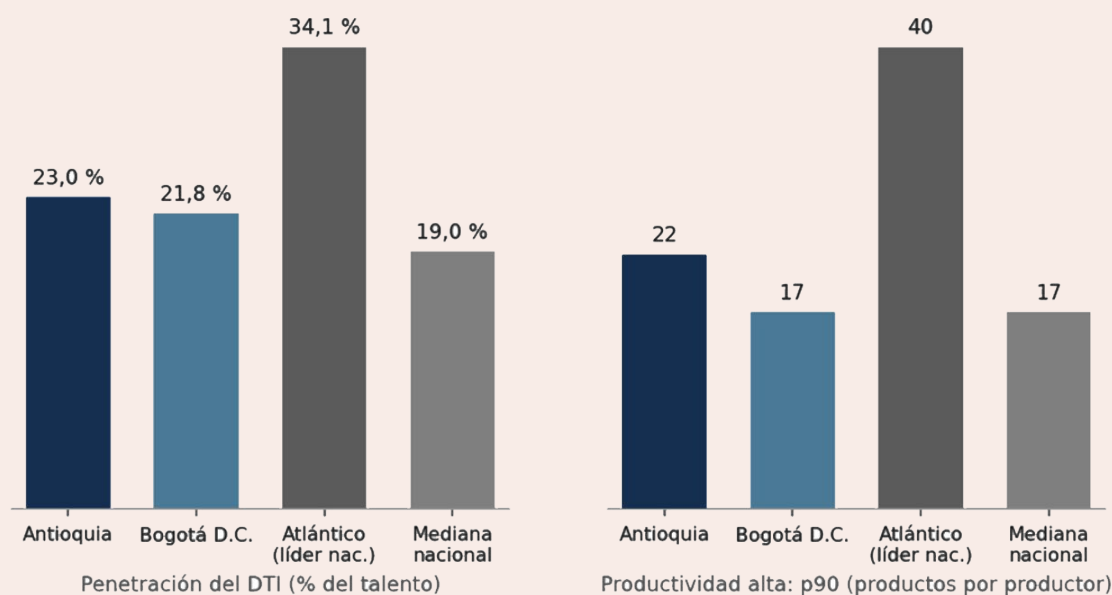
Por eso esta sección observa la dimensión tecnológica hasta la puerta del mercado, el tránsito de la solicitud a la concesión y de la concesión a su uso visible, y remite a la dimensión de innovación el análisis de la adopción empresarial y de las capacidades de absorción. Los tres momentos quedan así diferenciados, sin que una dimensión mida lo que corresponde a otra.

Tres fuentes diferentes permiten tener una mirada amplia de esta dimensión para la ciudad. El desarrollo tecnológico e innovación (DTI) reportado en ScienTI describe la etapa inicial: la base instalada y su orientación a proteger. Las patentes universitarias registradas en Lens.org, para las universidades de cada ciudad presentes en el QS de América Latina, miden lo que esa base produce y la primera pieza, la que separa solicitar de conceder. Finalmente, una revisión documental de fuentes públicas traza la parte más estrecha, la que va de la patente concedida al mercado.

4.3.1 Insumos: la boca del embudo

El desarrollo tecnológico parte de la misma base de talento del sistema, y en Antioquia esa base es ancha, diversa y, sobre todo, orientada a proteger lo que produce. Cerca de 5.550 investigadores antioqueños registran productos de desarrollo tecnológico o de propiedad intelectual, casi la mitad de los productores de Bogotá, pero generan en conjunto unos 59.000 productos técnicos, cerca de dos tercios de los de la capital: por productor, la base antioqueña resulta más productiva, con alrededor de 10,6 productos por persona frente a 8,0 en Bogotá, y entre sus productores más activos la diferencia se amplía (Figura 3.41).

Figura 3.41. Base de desarrollo tecnológico e innovación (DTI): penetración en el talento y productividad de los más activos.



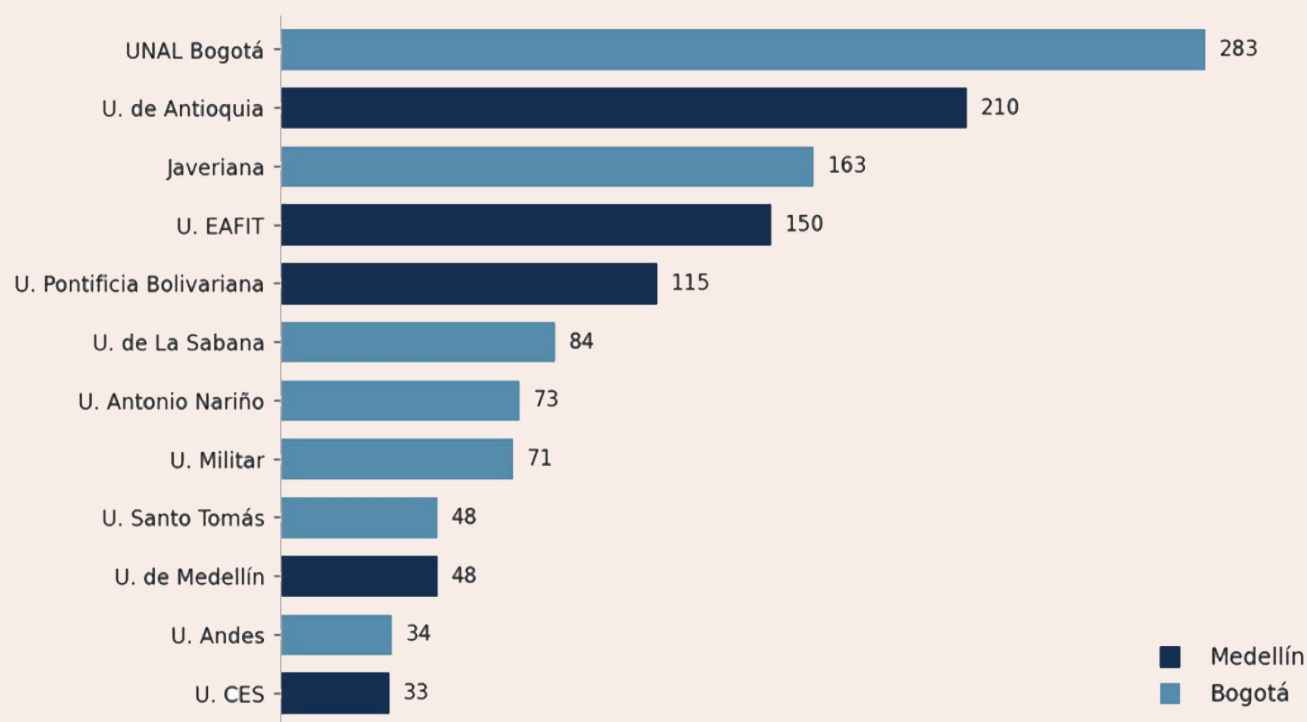
Fuente: ScienTI (Minciencias); cálculos propios.

Esa base, además, es transversal. Casi todos los grupos antioqueños, el 98 % frente al 94 % de Bogotá, registran alguna actividad de desarrollo tecnológico, y su producción se reparte por más campos técnicos que la bogotana. La penetración, es decir, la proporción del talento con productos de este tipo, alcanza el 23 %, por encima de la mediana nacional del 19 % aunque sin ser el primer lugar del país, que ocupa Atlántico con un 34 %. No es, en resumen, una base estrecha y puntera, sino amplia y con vocación de formalizar el conocimiento en activos protegibles. Esa vocación es la que, consecuentemente, puede materializarse en patentes.

4.3.2 Productos: la primera puerta, de la solicitud a la concesión

El producto tecnológico más visible son las patentes. Medidas por titularidad, es decir, por aquellas en que la universidad figura como solicitante, las universidades de Medellín suman alrededor de 600 registros frente a unos 880 de Bogotá: la capital lidera el agregado, pero Medellín alcanza cerca de dos tercios con bastantes menos universidades. A nivel de institución, la Universidad de Antioquia es la mayor titular de Medellín y la segunda del país, solo por detrás de la Universidad Nacional, con EAFIT y la Universidad Pontificia Bolivariana también entre las más patentadoras (Figura 3.42).

Figura 3.42. Universidades líderes por patentes como solicitante (titularidad); color por ciudad.

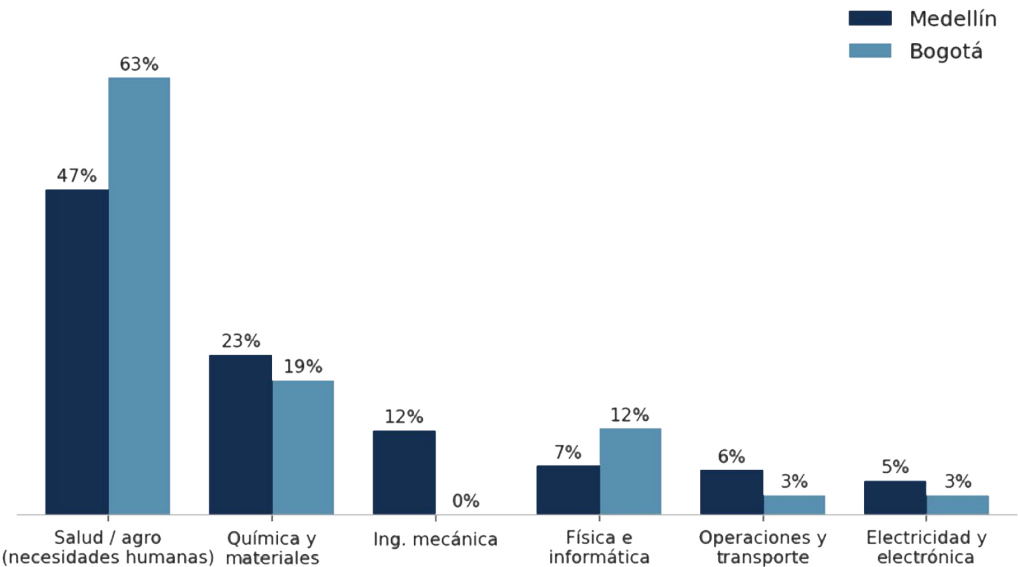


Fuente: Lens.org (consulta de mayo de 2026), universidades del QS de América Latina; cálculos propios.

Más revelador que el conteo es en qué patenta Medellín. Sus patentes se concentran en dos frentes: las necesidades humanas, sobre todo salud y agro, y la química y los materiales. Conviene compararlo con Bogotá para leerlo bien (Figura 3.43): las dos ciudades patentan intensamente en salud, y de hecho Bogotá lo hace incluso más; lo que distingue a Medellín no es la salud en sí, sino su mayor peso relativo en química y materiales y en ingeniería mecánica, frente a una Bogotá algo más inclinada a la física y la informática. Ese eje

biomédico y químico es, en Medellín, el mismo que define a su investigación, señal de una vocación técnico-productiva coherente. En el detalle se ven las huellas de cada institución: la Universidad de Antioquia en preparaciones farmacéuticas y plantas; el CES en odontología y diagnóstico; EAFIT en bioquímica, biocontrol y, de forma llamativa, en tecnología ferroviaria; la UPB en nanotecnología, grafeno y turbinas de viento; y la Universidad de San Buenaventura en tecnología asistida.

Figura 3.43. Perfil de las patentes por campo tecnológico: Medellín frente a Bogotá (participación de cada campo en el total de la ciudad, clasificación internacional de patentes).

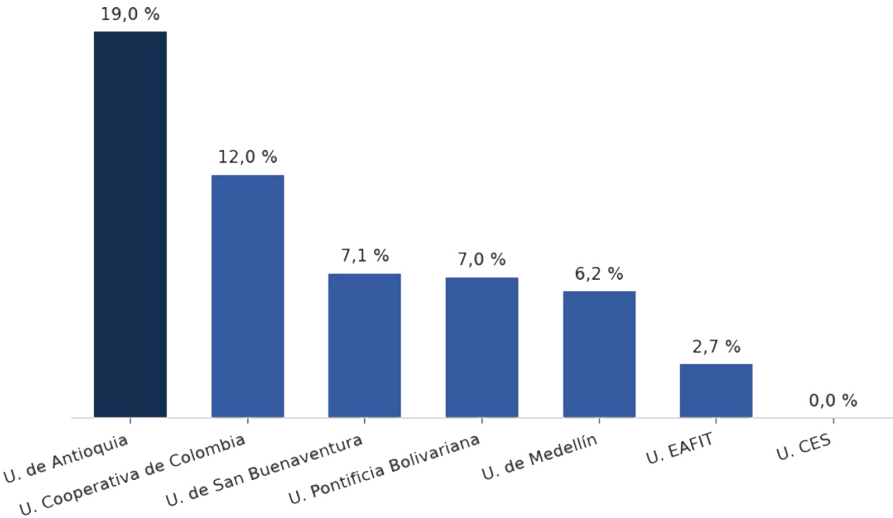


Fuente: Lens.org; cálculos propios.

Pero patentar ocurre en dos tiempos: primero se solicita y solo después, si la oficina lo concede, se obtiene la patente. Esa es la primera compuerta del embudo, y separa dos modelos dentro de Medellín (Figura 3.44). La Universidad de Antioquia no solo es la que más

patenta, sino la que convierte solicitudes en concesiones a la tasa más alta del país entre las grandes patentadoras, cercana al 19 %, sostenida por una oficina de transferencia consolidada.

Figura 3.44. Tasa de concesión de patentes (concedidas sobre el total verificado) en las universidades de Medellín.



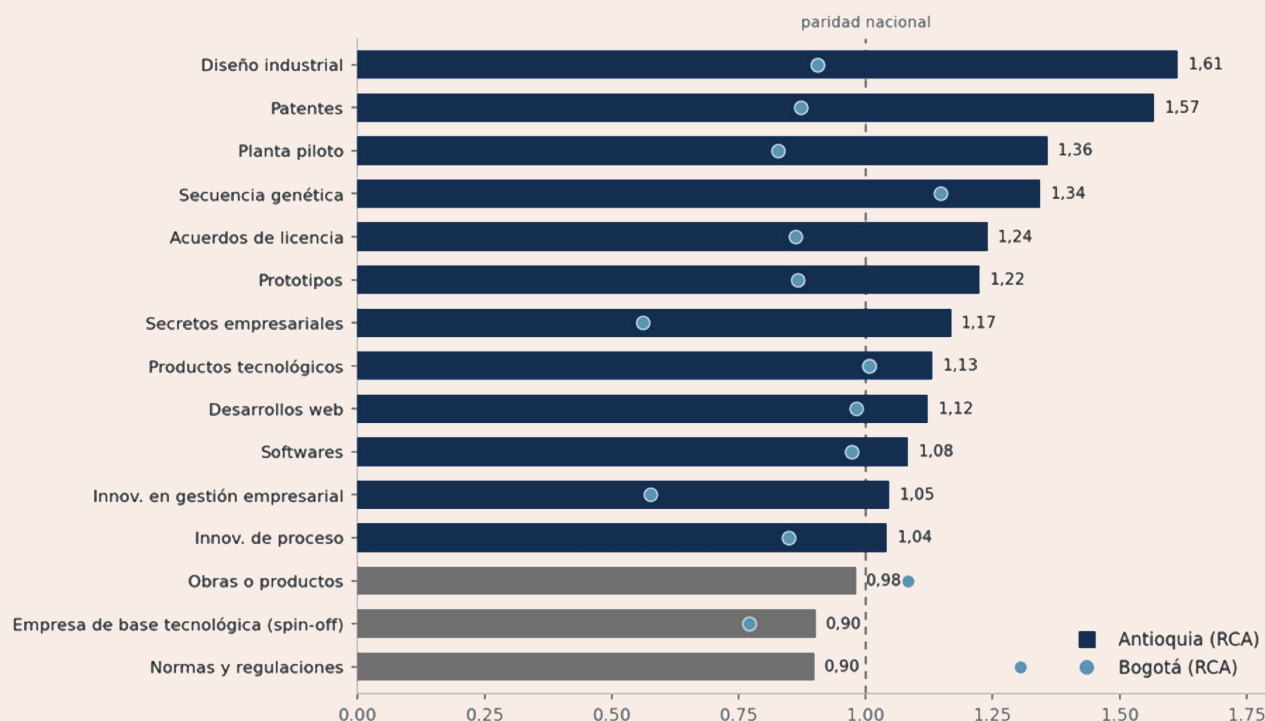
Fuente: Lens.org; cálculos propios.

El registro nacional de ScienTI permite además abrir esas dos vertientes en categorías concretas (Figura 3.45). El desarrollo técnico reúne software, prototipos, diseños industriales, plantas piloto, secuencias genéticas, innovaciones de proceso, secretos empresariales y empresas de base tecnológica, entre otros; la propiedad intelectual agrupa patentes, acuerdos de licencia y signos distintivos. Medida por la ventaja revelada de cada categoría, la especialización de Antioquia se concentra de forma muy clara en proteger y en aplicar: encabezan el diseño industrial y las patentes, donde supera con holgura la paridad nacional mientras Bogotá queda por debajo, y la acompañan las plantas piloto, las secuencias genéticas, los prototipos, los acuerdos de

licencia y los secretos empresariales. Es, en categorías finas, el retrato de una región que formaliza y aplica lo que desarrolla.

Aquí, en los propios datos de ScienTI, ya se asoma la sombra del cuello de botella que se verá más abajo. La única categoría de corte empresarial en la que Antioquia no alcanza la paridad nacional es, justamente, la empresa de base tecnológica, la spin-off; y también queda por debajo en normas y regulaciones, donde Bogotá sí se especializa. Dicho de otro modo, la región sobresale en proteger lo que desarrolla, pero no en el vehículo empresarial que más adelante resultará decisivo para llevar la patente al mercado. La fortaleza del embudo está, una vez más, en su parte alta; la compuerta decisiva está más abajo.

Figura 3.45. Especialización del DTI de Antioquia por categoría: ventaja comparativa revelada (RCA) por personas frente al promedio nacional; el punto marca a Bogotá.



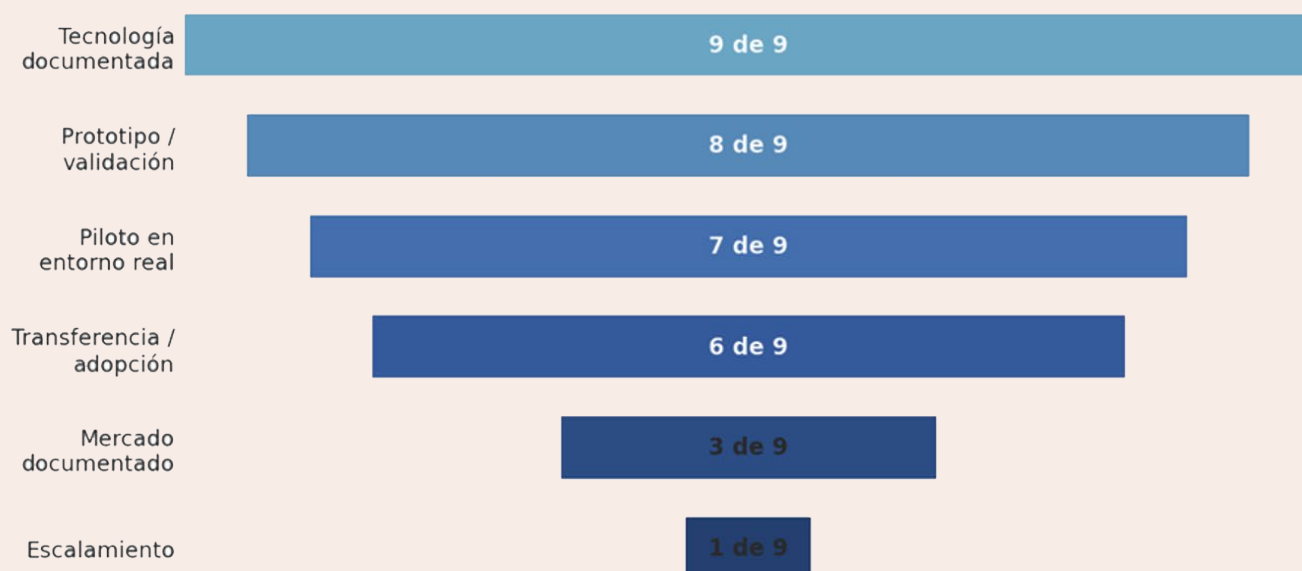
Fuente: ScienTI (Minciencias); cálculos propios.

4.3.3 Impactos: la compuerta más estrecha, de la patente al mercado

La pregunta que define esta dimensión es qué ocurre después de la patente. La evidencia proviene de una revisión documental de casos relevantes: desarrollos asociados a Medellín con huella pública suficiente para reconstruir, al menos parcialmente, su trayectoria posterior. Por ello, la lectura debe hacerse con una advertencia metodológica central: se trata de una muestra priorizada de casos visibles, no de un censo del patentamiento de la ciudad. Sus proporciones no deben extrapolarse al conjunto del sistema, pero sí permiten identificar un patrón.

Ese patrón es el de un embudo que se estrecha en el tramo final. Entre los casos rastreados, la mayoría presenta señales de desarrollo tecnológico: prototipos, validaciones, pilotos o algún mecanismo de transferencia, pero el número cae de forma marcada cuando se exige evidencia de mercado y cae aún más cuando se busca evidencia de escalamiento (Figura 3.46). Medellín sí convierte algunas patentes en innovación efectiva, pero el salto más difícil no parece estar en inventar ni en proteger la invención, sino en pasar de la validación técnica al primer cliente, y del primer cliente al despliegue recurrente.

Figura 3.46 Embudo de conversión de patente a mercado en una muestra priorizada de casos trazadores de Medellín (no es una tasa del sistema).



Fuente: revisión documental de fuentes públicas; ver Fuentes.

El factor que más claramente diferencia las trayectorias no es solo la calidad técnica de la invención, sino la existencia de un vehículo de explotación. Los casos que avanzan más lejos suelen compartir una estructura: una spin-off con capacidad comercial, un licenciatario especializado, un socio industrial que asume fabricación y regulación, o un usuario que participa desde el diseño y adopta la solución. Cuando ese vehículo no aparece, la patente tiende a permanecer en lógica de portafolio: protegida, documentada y potencialmente transferible, pero sin una ruta clara hacia uso recurrente.

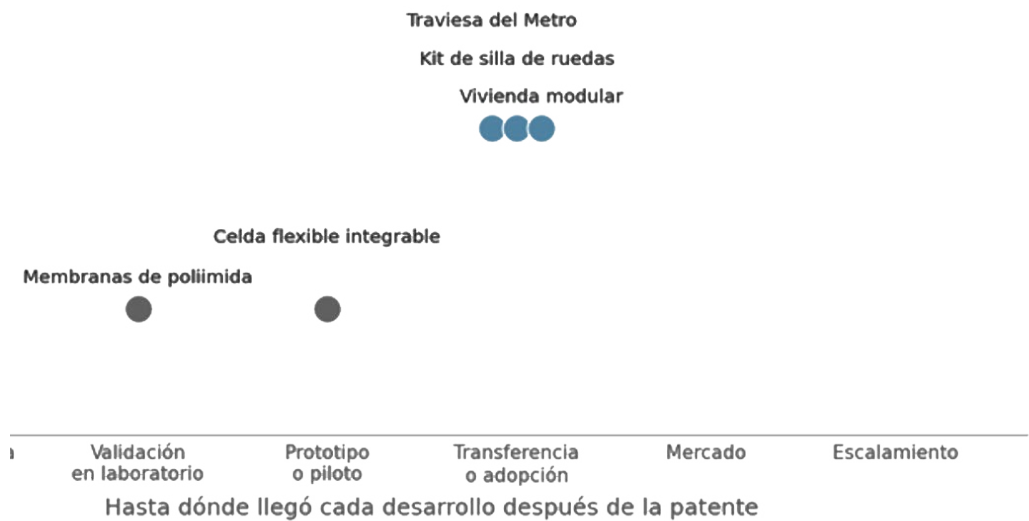
Bajo esta mirada, el perfil de patentamiento observado en Lens deja de ser solo descriptivo y ayuda a interpretar diferencias en las trayectorias de implementación. Los campos en los que Medellín más patenta no enfrentan la misma compuerta de salida al mercado. En salud, donde suele existir un usuario identificable, una necesidad clínica concreta y, en algunos casos, una empresa capaz de asumir fabricación, regulación y comercialización, aparecen las huellas más claras de llegada al mercado. Los implantes a la medida Smartbone y el videolaringoscopio, desarrollados por EAFIT y CES y licenciados a Innmetec, se ofrecen comercialmente. De forma similar, los minerales microencapsulados de la

Universidad de Antioquia llegaron al mercado a través de Nexentia, spin-off de Corona, bajo la marca Forticaps.

En química y materiales, en cambio, la trayectoria parece frenarse con mayor frecuencia en el tramo costoso que separa la demostración técnica del cliente. La Celda Flexible Integrable de la Universidad de Antioquia, desarrollada con EPM y socios industriales, alcanzó un nivel alto de maduración y protección internacional, pero no se identificó evidencia pública de producto desplegado. Las membranas de EAFIT, aunque patentadas, son reportadas por la propia universidad en fase de laboratorio. Construcción y movilidad ocupan una posición intermedia: la vivienda modular de la UPB avanzó mediante licenciamiento a una empresa, mientras que la travesía ferroviaria de EAFIT y el Metro de Medellín muestra una ruta distinta, basada en adopción por parte del usuario operativo.

La Figura 3.47 resume estas trayectorias y hace visible la divergencia entre campos: salud concentra los casos con evidencia más clara de mercado y escalamiento; construcción y movilidad muestran rutas de transferencia o adopción; y química y materiales tienden a detenerse antes, en validación, prototipo o maduración tecnológica.

Figura 3.47. Trayectoria de los casos trazadores de Medellín después de la patente, por campo. Cada punto es un desarrollo documentado y el eje marca hasta dónde avanzó; muestra priorizada, no censo.

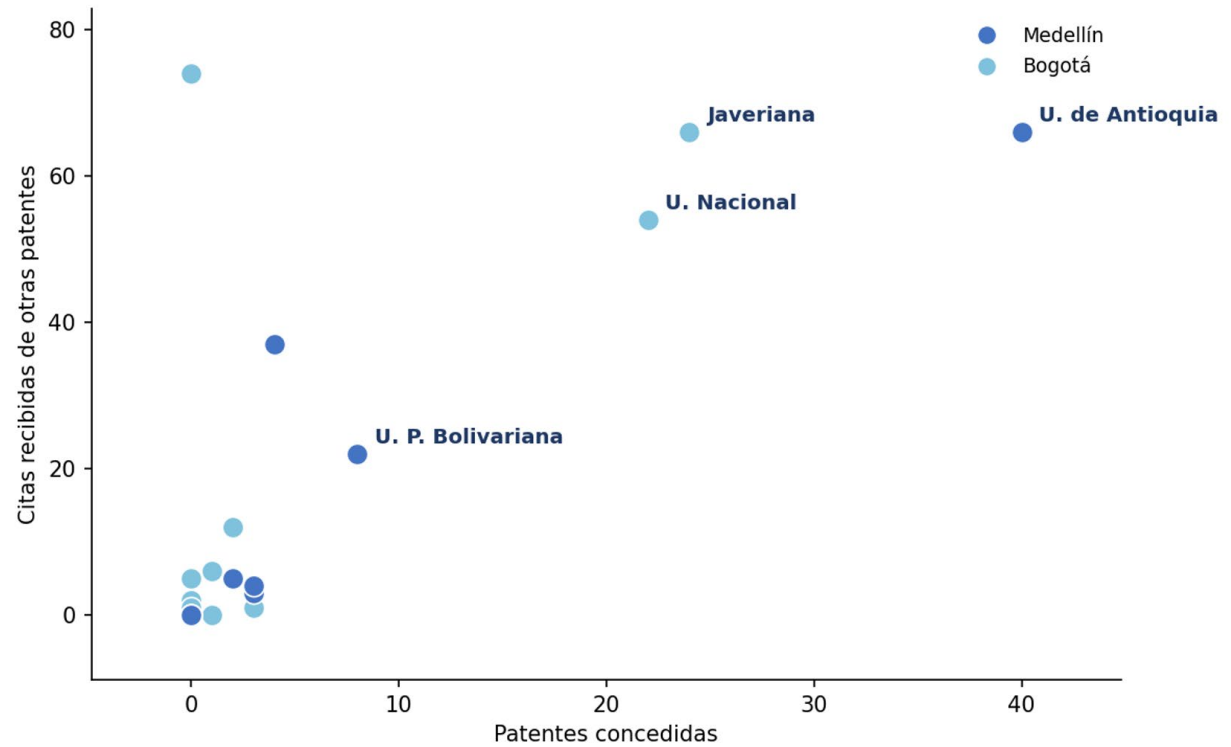


Fuente: revisión documental de fuentes públicas; ver Fuentes.

La mirada de citas complementa esta lectura. Al cruzar, universidad por universidad, el volumen de patentes concedidas con las citas recibidas de otras patentes (Figura 3.48), Medellín y Bogotá aparecen mezcladas en la franja de mayor producción universitaria. En agregado, las patentes universitarias asociadas a Medellín reciben más citas que

las de Bogotá, diferencia que se hace más interesante considerando que parte del portafolio de Medellín es más reciente y, por tanto, ha tenido menos tiempo para acumular citas. En todo caso, el principal cuello de botella que revela la revisión no parece ser únicamente de reconocimiento tecnológico, sino de maduración, demanda y explotación.

Figura 3.48. Volumen de patentes concedidas frente a impacto de las patentes universitarias: cada punto es una universidad, coloreada por ciudad.



Fuente: Lens.org; cálculos propios.

Un hallazgo importante es también una brecha de información. Medellín no cuenta hoy con un sistema público y sistemático que siga, con un lenguaje común de datos, qué ocurrió después de cada patente: si fue prototipada, validada, licenciada, adoptada, vendida, escalada o abandonada. Por eso, muchos éxitos se

conocen como casos individuales y no como estadística del sistema. La ciudad puede mostrar ejemplos reales de conversión de patentes en innovación, pero todavía no mide de manera sistemática el embudo que conecta la invención protegida con el uso tecnológico y el mercado.

4.3.4 Síntesis del bloque de tecnología

Leída como un embudo, la tecnología de Medellín cuenta una historia: la región es fuerte en la parte alta y se estrecha hacia abajo. Arriba, una base amplia y diversa, un alto patentamiento con la Universidad de Antioquia como segunda titular del país y la de mayor tasa de concesión entre las grandes, y una concentración en salud y química coherente con su vocación investigadora. Más abajo, dos compuertas sucesivas, de la solicitud a la concesión y de la concesión al mercado, y es en la última donde se pierde la mayor parte del valor potencial: Medellín convierte, pero como colección de excepciones, no como regla. En cada compuerta decide lo mismo, la articulación posterior, una oficina que lleva la solicitud a concesión, una empresa o un usuario que lleva la patente al mercado; y en cada compuerta el sistema se vuelve más opaco a medida que baja. El reto, por tanto, es principalmente dar tracción: maduración tecnológica en el tramo intermedio, demanda temprana de usuarios capaces de adoptar, y trazabilidad para gestionar el portafolio por su probabilidad de llegar al mercado y no solo por su tamaño.

Ese reto de tracción tiene un nombre preciso en la literatura de comercialización tecnológica. El tramo intermedio donde Medellín pierde la mayor parte del valor es el que Auerswald y Branscomb (2003) llaman el valle de la muerte, la transición de la invención a la innovación en la que las asimetrías de información e incentivos, sumadas a vacíos institucionales, desalientan la inversión privada; sobre la escala de madurez tecnológica TRL (Mankins, 1995) se sitúa entre los niveles cuatro y siete, cuando la tecnología ya está validada pero todavía no se ha demostrado en un entorno real. Así, los tres

frentes que la región necesita corresponden a instrumentos concretos de la Guía metodológica de proyectos de investigación aplicada y desarrollo experimental en el Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación (CTI) de Medellín: la maduración del tramo intermedio es el terreno de los proyectos de desarrollo experimental y sus validaciones; la trazabilidad que hoy falta es el lenguaje común del TRL, que permite gestionar el portafolio por su probabilidad de llegar al mercado y no solo por su tamaño; y la articulación posterior que decide cada compuerta es el mecanismo de transferencia, cesión o licencia, que solo opera cuando la madurez es suficiente. Sobre esa última pieza la evidencia agrega un matiz: Jensen y Thursby (2001) muestran que las invenciones universitarias se licencian en estado embrionario, proofs and prototypes, y solo avanzan cuando el ingreso del inventor queda atado al desempeño del licenciatario, de modo que la empresa o el usuario que lleva la patente al mercado cumple su papel cuando carga una estructura de incentivos, no solo una figura jurídica.

Esta lectura conecta con el resto del diagnóstico. En investigación, una vez descontada la escala, Medellín produce con calidad y mantiene una internacionalización razonable, con la franja de fortalezas globales más amplia de las ciudades comparadas; su reto allí es de masa crítica y de equilibrio. En tecnología, en cambio, el cuello de botella es más claro: convertir la patente en mercado. Además, enlaza con la innovación, aunque conviene no confundirlas: la salida de una patente al mercado es solo uno de los canales por los que el conocimiento alimenta la innovación empresarial, que es mucho más amplia y, muchas veces, no pasa por una patente universitaria.

4.4 Innovación

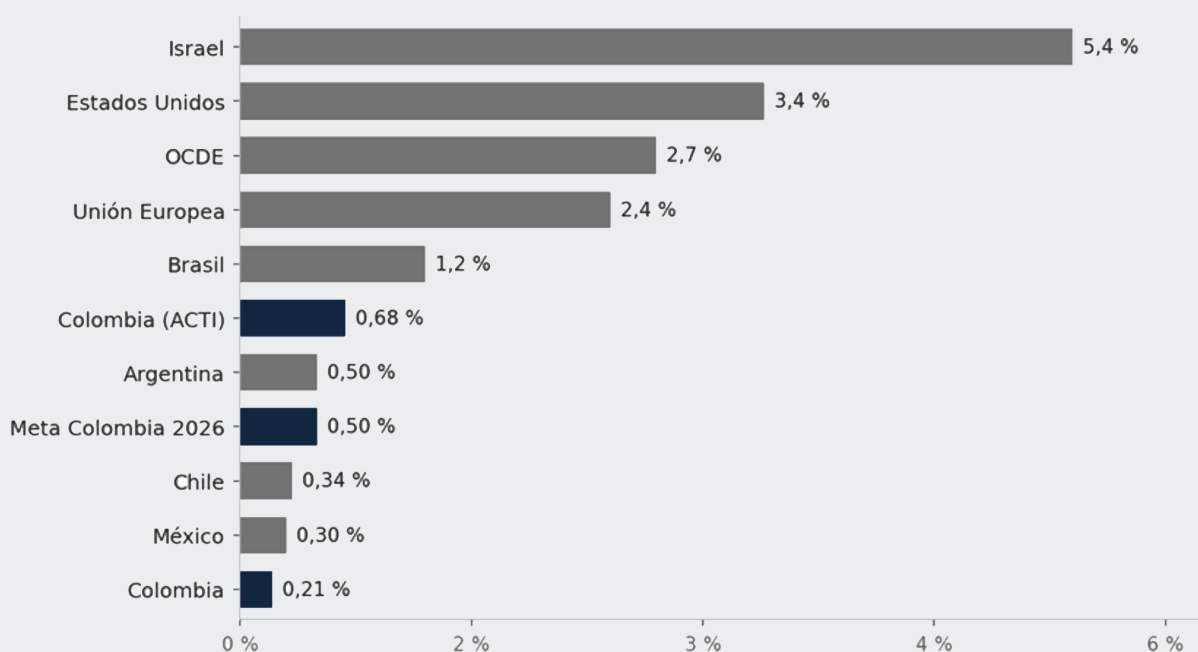
La innovación expresa la adopción y el uso del conocimiento en el tejido productivo: el punto en que la ciencia y la tecnología se convierten en nuevos productos, procesos y modelos de negocio. Esta subsección sitúa a Medellín y Antioquia en el contexto nacional y, sobre todo, frente a Bogotá, reconociendo que Colombia parte de un rezago estructural en la materia.

Como en los demás bloques, la lectura sigue la secuencia de insumos, productos y resultados, y combina indicadores internacionales de contexto con datos regionales y de nivel de empresa. Conviene anticipar una idea que recorre todo el análisis: en innovación, la ventaja relativa de Antioquia no está en el volumen sino en la intensidad.

4.4.1 Insumos: inversión e intensidad regional

El primer insumo de la innovación es la inversión en investigación y desarrollo (I+D). Aquí Colombia enfrenta un déficit estructural: invierte cerca del 0,2 % del PIB en I+D en sentido estricto, según la OCDE y WIPO, muy por debajo del promedio de la OCDE (2,7 %) y de varios pares latinoamericanos (Figura 3.28). Conviene precisar la fuente y la definición, pues otras mediciones, como el estudio DeepTech Colombia 2025 de la organización Sciencepreneurs, que mapea las empresas de base científico-tecnológica del país, reportan un 0,34 % para Colombia y un 1,3 % para Brasil, cifras superiores por usar una definición y un año distintos. La meta nacional para 2026 apenas alcanzaría el 0,5 %. Toda la dinámica regional ocurre, por tanto, sobre una base de inversión escasa.

Figura 3.49. Inversión en I+D (en sentido estricto) como porcentaje del PIB.

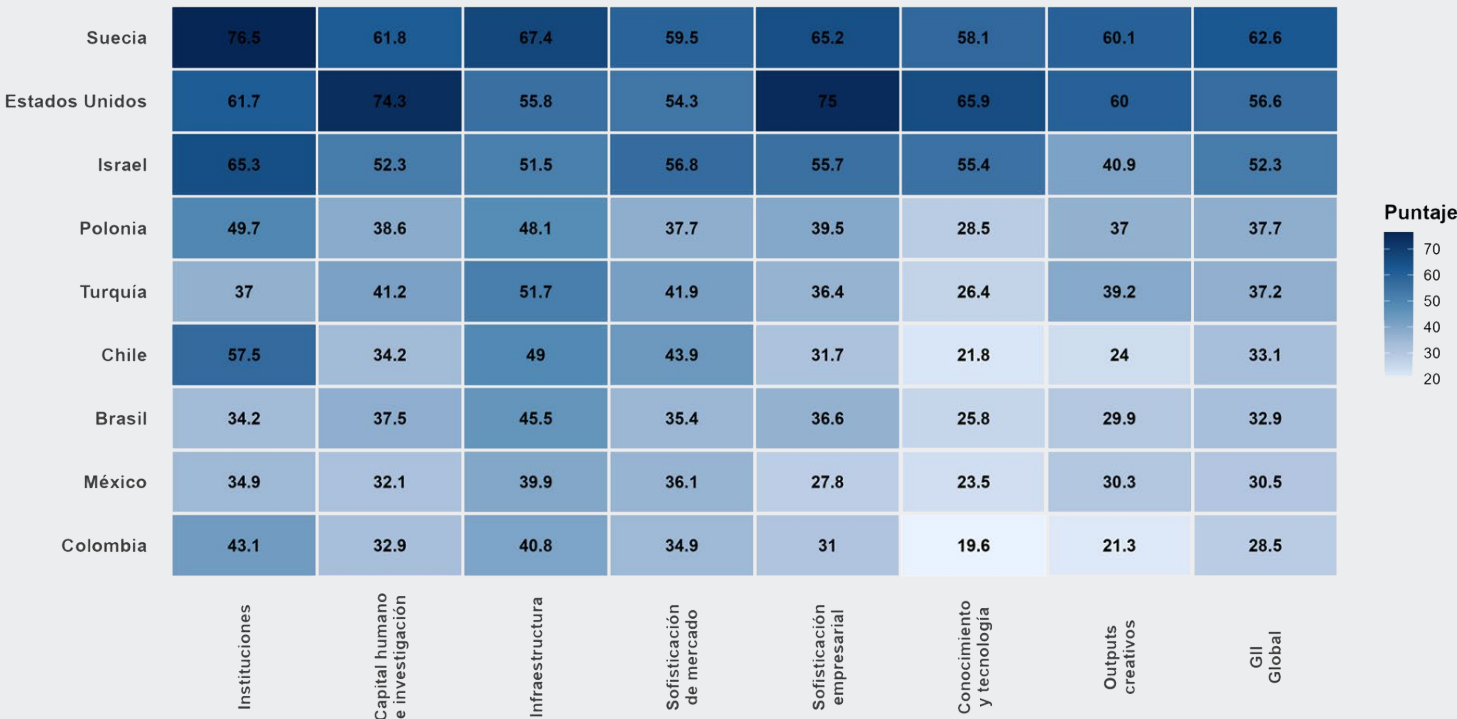


Fuente: WIPO GII y OCDE; cálculos propios. Nota: otras fuentes (Sciencepreneurs DeepTech Colombia 2025) reportan 0,34 % para Colombia bajo una definición distinta.

Siguiendo la visión macro de la innovación, La Figura 3.49 muestra con claridad la magnitud de las brechas que separan a Colombia de las economías líderes en innovación y, en menor medida, de países de convergencia como Polonia y Turquía. Mientras Suecia, Estados Unidos e Israel exhiben fortalezas relativamente equilibradas en instituciones, capital humano, sofisticación empresarial y generación de conocimiento, Colombia registra los puntajes más bajos del grupo en el índice global de innovación (28,5) y presenta rezagos particularmente marcados en conocimiento y tecnología (19,6) y outputs creativos (21,3). Esto sugiere que el principal

desafío del país no radica únicamente en la generación de emprendimientos, sino en su capacidad para transformar conocimiento en innovación productiva, escalamiento empresarial y resultados económicos. En línea con el diagnóstico del informe, Colombia ha logrado construir un ecosistema relativamente dinámico en creación de empresas, pero todavía enfrenta limitaciones estructurales para financiar, sofisticar y escalar emprendimientos de alto impacto, lo que restringe su capacidad de cerrar brechas de productividad y avanzar hacia una trayectoria de crecimiento comparable a la de las economías más innovadoras.

Figura 3.50. Índice Global de Innovación: comparación por país, 2025.

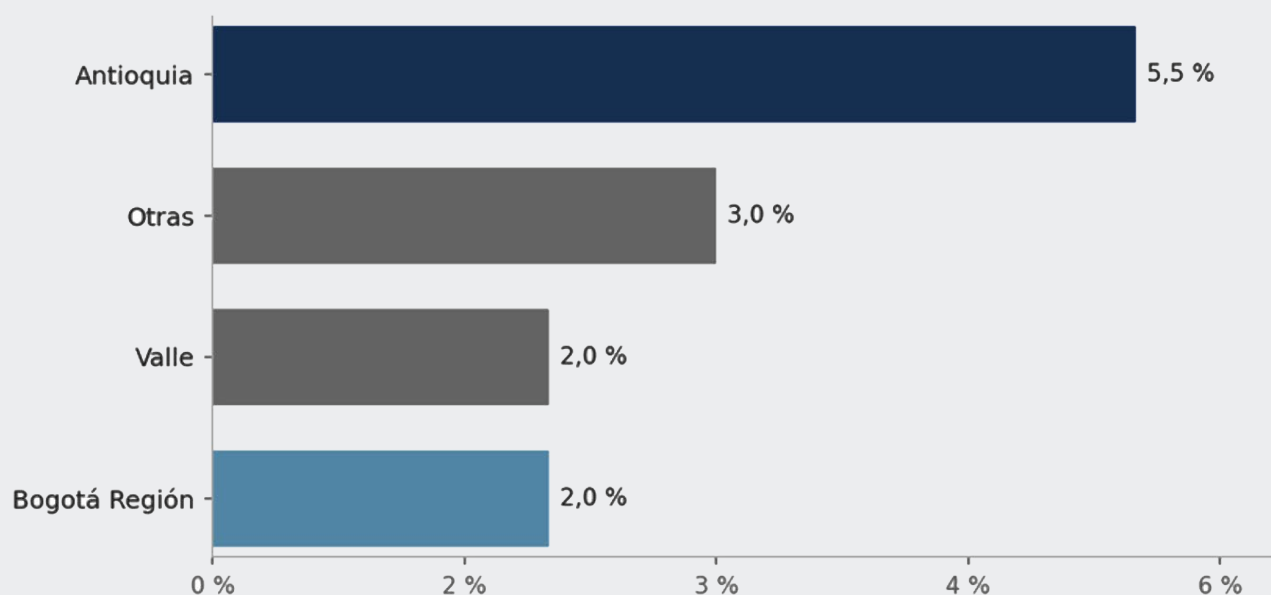


Fuente: Elaboración propia a partir de datos del informe El emprendimiento y la innovación como ejes del desarrollo en Colombia: recomendaciones de política pública.

Dentro de ese contexto más a nivel región, Antioquia se distingue con claridad. Los datos de innovación empresarial provienen del Ranking de Innovación Empresarial de la ANDI (2026), que la Asociación Nacional de Empresarios de Colombia elabora a partir de una encuesta a sus empresas afiliadas; al tratarse de medianas regionales sobre esa muestra de afiliados, describen la intensidad

típica del esfuerzo innovador, no el universo empresarial ni los montos absolutos de inversión. En intensidad de innovación empresarial, medida como la mediana de la inversión en actividades de ciencia, tecnología e innovación (ACTI) sobre las ventas, Antioquia registra un 5,5 %, frente al 2,0 % de Bogotá y Cundinamarca

Figura 3.51. Mediana de inversión en ACTI sobre ventas, por región.



Fuente: ANDI; cálculos propios.

El balance de insumos invierte el patrón de los bloques anteriores: en volumen de inversión el país es deficitario y Bogotá concentra el grueso del ecosistema, pero en intensidad

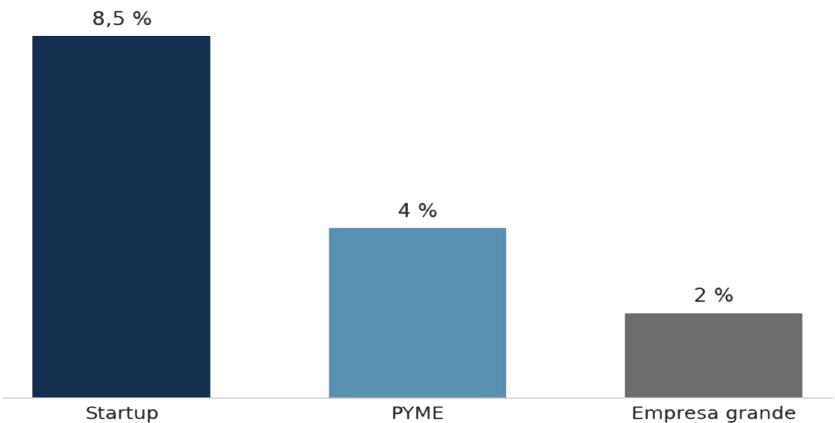
relativa Antioquia se ubica entre las regiones de mayor intensidad de la muestra de la ANDI. La señal antioqueña es de calidad del esfuerzo innovador, no de tamaño.

4.4.2 Productos: tejido y ecosistema innovador

La intensidad innovadora depende fuertemente del tipo de empresa. En la mediana, los startups destinan el 8,5 % de sus ventas a ACTI, las pymes el 4,0 % y las grandes empresas el 2,0 % (Figura 3.52). Esa

intensidad relativa, sin embargo, no equivale a volumen: los startups tienen mayor intensidad de ACTI sobre ventas, pero las grandes empresas concentran los mayores montos absolutos de inversión. El perfil intensivo de Antioquia se apoya, en buena medida, en un tejido de empresas jóvenes e intensivas en conocimiento.

Figura 3.52 Mediana de inversión en ACTI sobre ventas, por tamaño de empresa.

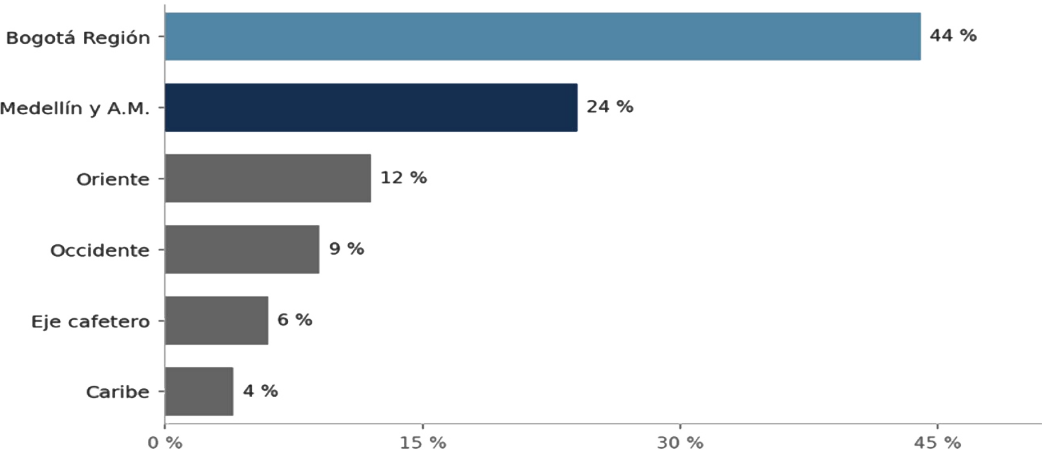


Fuente: ANDI; cálculos propios.

El ecosistema de empresas de base científico-tecnológica se concentra geográficamente. En la muestra de empresas de base científico-tecnológica (EBCT) y startups de Sciencepreneurs, Bogotá Región reúne cerca del 44 % de estas empresas y Medellín el 24

%, muy por delante del resto del país (Figura 3.53). Se trata de la muestra identificada por Sciencepreneurs, no del universo total de empresas tecnológicas; dentro de ella, el ecosistema sigue siendo predominantemente bogotano.

Figura 3.53. Distribución regional de las EBCT y startups identificadas por Sciencepreneurs (no del universo total de empresas tecnológicas).

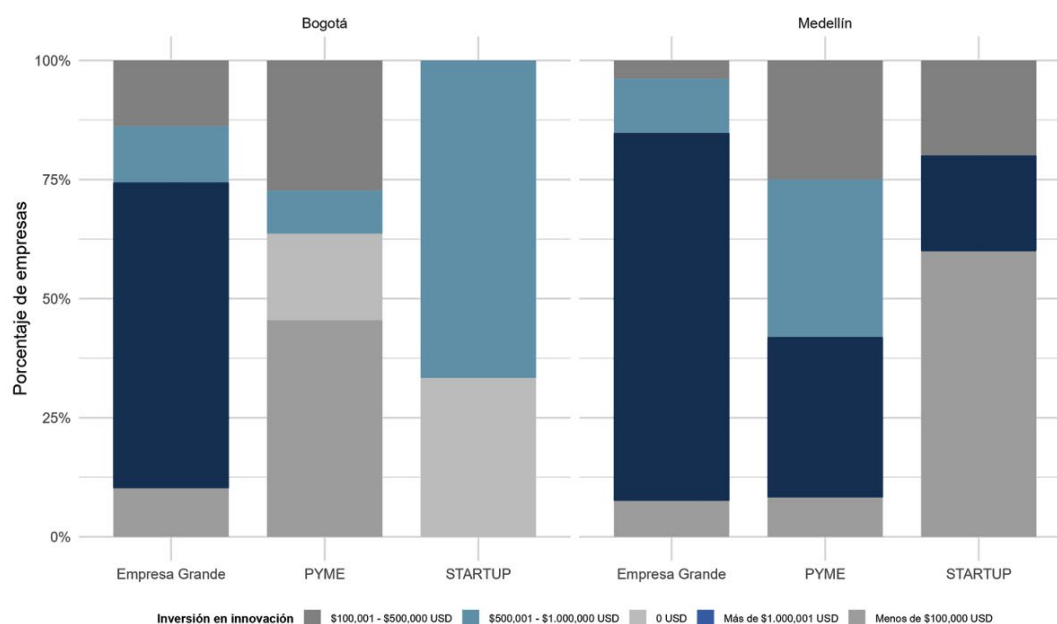


Fuente: Sciencepreneurs DeepTech Colombia 2025 / BD de innovación; cálculos propios

La Figura 3.54 muestra que, incluso dentro de las empresas afiliadas a la ANDI, existen diferencias en la composición de la inversión en innovación entre Bogotá y Medellín. En ambas ciudades, las grandes empresas concentran los mayores montos de inversión, pero Medellín exhibe una mayor participación de empresas grandes que invierten más de USD 1 millón en actividades de ciencia, tecnología e innovación (ACTI). Por su parte, las startups de Medellín presentan una distribución más

equilibrada entre distintos niveles de inversión, mientras que en Bogotá predominan las startups con inversiones intermedias. Estos resultados son consistentes con la evidencia presentada anteriormente: Bogotá mantiene un ecosistema de mayor escala, pero Medellín se caracteriza por una mayor intensidad relativa del esfuerzo innovador, observada tanto en la inversión sobre ventas como en la proporción de empresas que realizan apuestas significativas en innovación.

Figura 3.54. Distribución de las empresas según nivel de inversión en ACTI, por tamaño empresarial y ciudad, 2026.

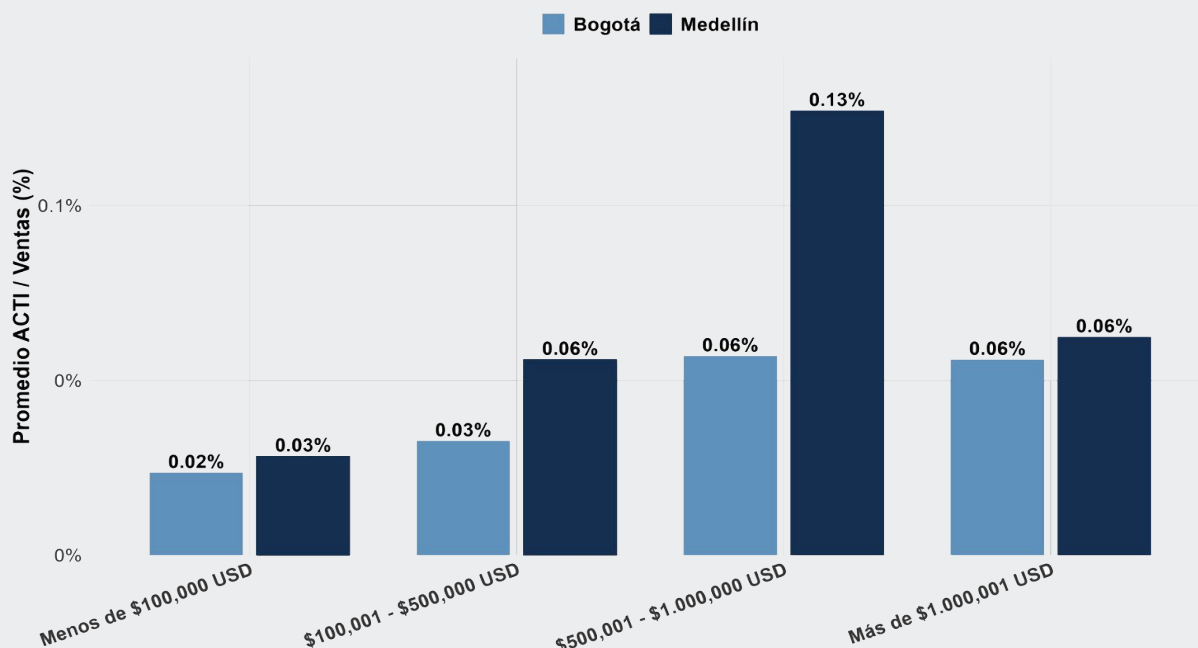


Fuente: ANDI; cálculos propios.

La Figura 3.55 muestra que la inversión en innovación está concentrada en los montos más altos dentro de los sectores de industria, comercio y transporte, especialmente en Medellín, donde predominan las empresas que invierten más de USD 1 millón en ACTI. En contraste, Bogotá presenta una distribución más heterogénea, con una mayor presencia de

empresas en rangos intermedios de inversión. Estos resultados sugieren que el esfuerzo innovador en Medellín es más intensivo dentro de sectores estratégicos de la economía, mientras que Bogotá exhibe una base empresarial más diversificada en términos de niveles de inversión.

Figura 3.56. Distribución de las empresas según nivel de inversión en ACTI, por tamaño empresarial y ciudad, 2026.



Fuente: ANDI; cálculos propios.

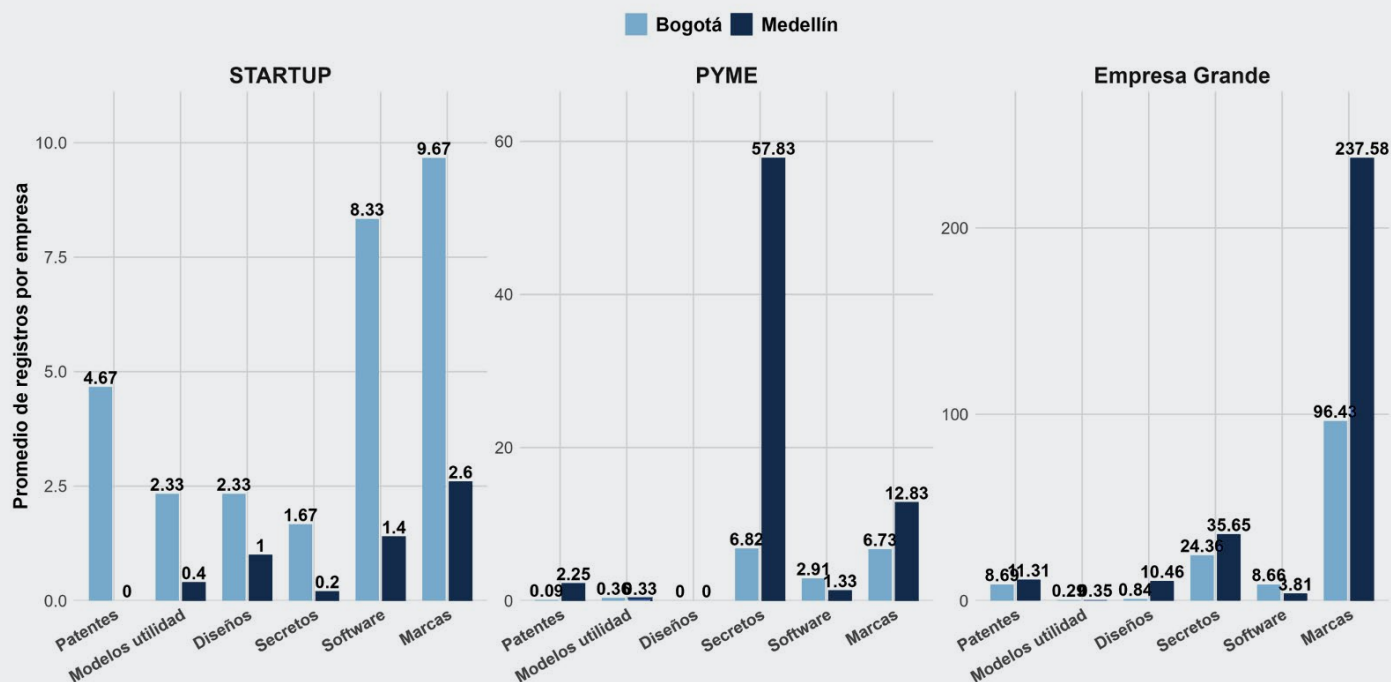
La Figura 3.56 muestra el margen intensivo de inversión dentro de las ventas que hacen las empresas de diferentes tamaños a actividades ACTI, así este refuerza una de las conclusiones centrales que viene apareciendo a lo largo del capítulo: la ventaja de Medellín no parece estar en el tamaño absoluto del ecosistema, sino en la intensidad del esfuerzo innovador.

Se observa que, para prácticamente todos los rangos de inversión en ACTI, las empresas de Medellín destinan una mayor proporción de sus ventas a actividades de ciencia, tecnología e innovación que las empresas de Bogotá. La

diferencia es especialmente marcada entre las empresas que invierten entre USD 500.001 y USD 1.000.000, donde la intensidad promedio en Medellín (0,13 %) más que duplica la observada en Bogotá (0,06 %).

En los demás rangos de inversión las brechas son menores, pero mantienen el mismo patrón: las empresas antioqueñas convierten una proporción relativamente mayor de sus ventas en esfuerzo innovador. Esto sugiere que, incluso cuando los montos de inversión son similares, las firmas de Medellín presentan una mayor orientación hacia la innovación como estrategia empresarial.

Figura 3.57. Distribución de las empresas según nivel de inversión en ACTI, por tamaño empresarial y ciudad, 2026.



Fuente: ANDI; cálculos propios.

La Figura 3.57 profundiza la conclusión anterior y muestra que las diferencias entre Bogotá y Medellín no son homogéneas, sino que dependen fuertemente del tamaño de la empresa y del tipo de activo de propiedad intelectual.

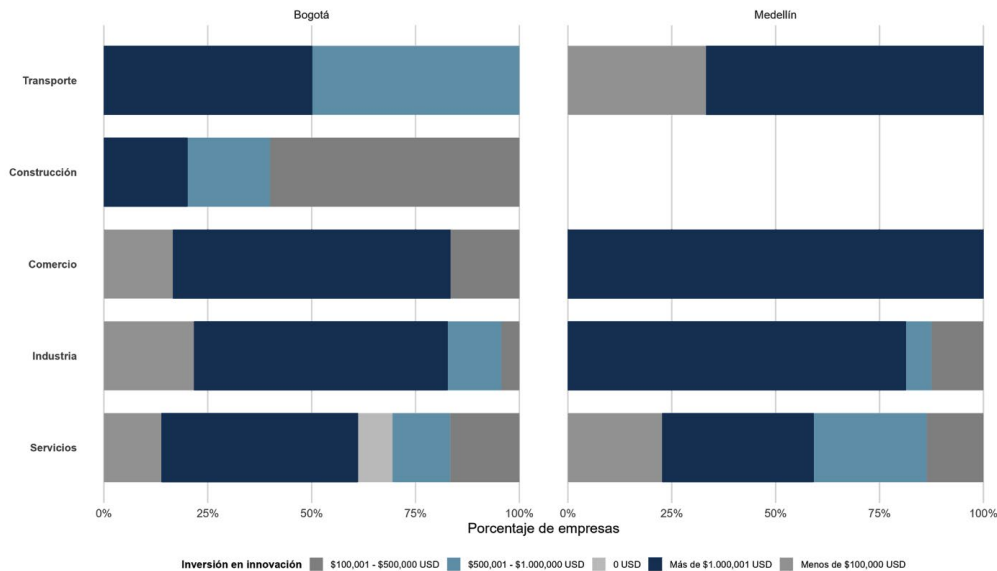
Entre las startups, Bogotá presenta una mayor producción promedio de registros en casi todas las categorías, especialmente en marcas, software y patentes. Esto es consistente con el mayor tamaño del ecosistema emprendedor bogotano y con la concentración de empresas de base tecnológica identificada en estudios como Sciencepreneurs.

Sin embargo, el patrón cambia de forma importante entre las pymes y las grandes empresas. En las pymes de Medellín destacan los secretos industriales (57,8 registros promedio frente a 6,8 en Bogotá) y las marcas (12,8 frente a 6,7), lo que sugiere una estrategia de innovación más orientada a

la protección de conocimiento productivo y capacidades empresariales. En las grandes empresas la diferencia es aún más marcada: Medellín supera ampliamente a Bogotá en marcas (237,6 frente a 96,4), secretos industriales (35,7 frente a 24,4), diseños industriales y patentes.

En conjunto, la evidencia sugiere la coexistencia de dos modelos complementarios. Bogotá parece sobresalir en la generación de nuevos emprendimientos innovadores, mientras que Medellín muestra una mayor capacidad para convertir la innovación en activos de propiedad intelectual dentro de empresas ya consolidadas, particularmente mediante marcas, diseños y mecanismos de apropiación del conocimiento. Este resultado es coherente con la narrativa del capítulo: Bogotá lidera en escala y tamaño del ecosistema, mientras Medellín destaca por la intensidad y la capacidad de apropiación de los resultados de la innovación.

Figura 3.58. Distribución de las empresas según nivel de inversión en ACTI, por sector empresarial y ciudad, 2026.

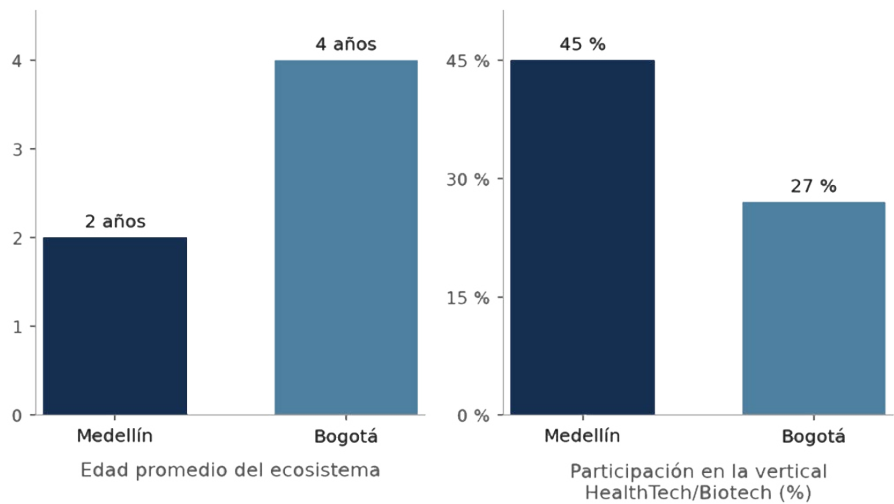


Fuente: ANDI; cálculos propios.

El perfil de Medellín, sin embargo, tiene rasgos propios (Figura 3.58): en la muestra de Sciencepreneurs, sus empresas de base tecnológica son más jóvenes que las de Bogotá, cerca de 2 años frente a 4. Además, dentro de la vertical HealthTech/Biotech, Antioquia concentra el 45 % de las EBCT

y startups identificadas, frente al 27 % de Bogotá Región. Este 45 % no significa que el 45 % de las startups de Medellín sean de salud, sino que Antioquia reúne esa proporción de las empresas de esa vertical específica. Medellín se distingue por especialización y dinamismo reciente más que por tamaño.

Figura 3.59. Perfil del ecosistema EBCT: edad promedio y participación en la vertical HealthTech/Biotech.



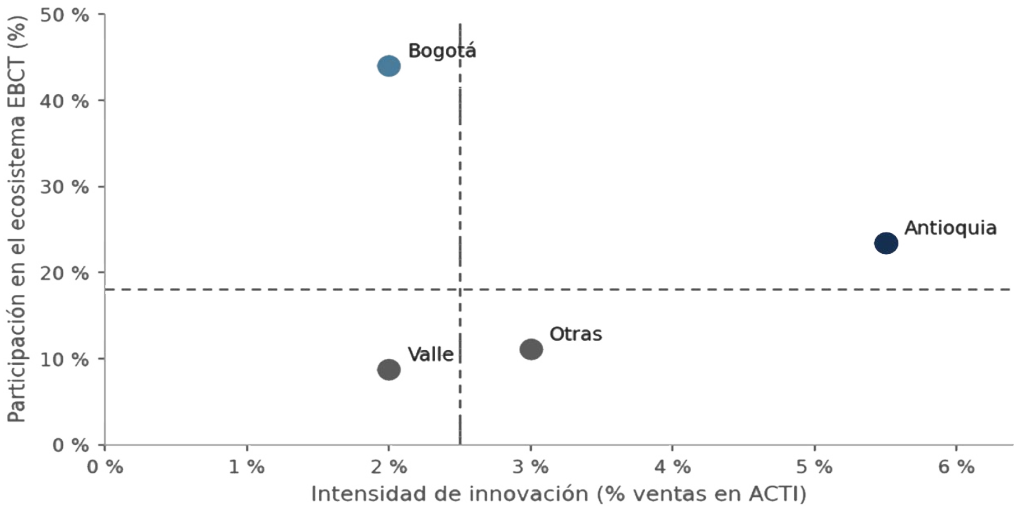
Fuente: Sciencepreneurs DeepTech Colombia 2025 / BD de innovación; cálculos propios.

4.4.3 Impactos: dos modelos de innovación

El contraste entre los dos modelos se sintetiza en la Figura 3.59 que cruza la intensidad de innovación con el tamaño del ecosistema.

Antioquia se ubica en el cuadrante de alta intensidad y escala intermedia, mientras Bogotá ocupa el de gran escala y baja intensidad. No compiten en el mismo terreno: Bogotá por volumen, Medellín por intensidad del esfuerzo innovador.

Figura 3.60. Intensidad de innovación (mediana de ACTI sobre ventas, ANDI) frente a participación en el ecosistema EBCT (Sciencepreneurs), por región.



Fuente: ANDI; Sciencepreneurs DeepTech Colombia 2025 / BD de innovación; cálculos propios.

El mapa de calor de la Figura 3.60 completa la lectura: Antioquia y Medellín se destacan en intensidad de innovación, en participación en la vertical HealthTech/Biotech y en juventud

del ecosistema, mientras Bogotá lidera en participación dentro de la muestra de empresas de base tecnológica.

Figura 3.60. Síntesis regional de la innovación (mapa de calor). Intensidad: mediana de ACTI sobre ventas (ANDI); tamaño, edad y vertical HealthTech/Biotech: Sciencepreneurs / BD de innovación.

Antioquia / Medellín	5,5 %	24 %	45 %	2
Bogotá	2,0 %	44 %	27 %	4
Valle	2,0 %	9,0 %	s. d.	s. d.
Otras	3,0 %	13 %	s. d.	s. d.
	Intensidad ACTI (% ventas)	% del ecosistema EBCT	Participación HealthTech/Biotech	Edad ecosistema (años, menor=mejor)

Fuente: ANDI; Sciencepreneurs DeepTech Colombia 2025 / BD de innovación; cálculos propios. s. d.: sin dato.

Sobre los resultados últimos, Sciencepreneurs reporta para las EBCT identificadas alrededor de 827 empleos y un 22 % de personal con maestría o doctorado, lo que apunta a empleo calificado. No obstante, falta una medición sistemática de la supervivencia, el escalamiento, las ventas, el licenciamiento,

los spin-offs y el valor económico agregado, por lo que estos resultados deben tomarse como una señal preliminar. Aun así, el patrón es consistente: la innovación antioqueña se sostiene en la intensidad del esfuerzo y en una presencia destacada en la vertical HealthTech/ Biotech, atributos que no dependen del tamaño del ecosistema.

Tabla 3.3. Ranking de innovación empresarial 2025. Fuente: ANDI, gerencia de innovación y emprendimiento

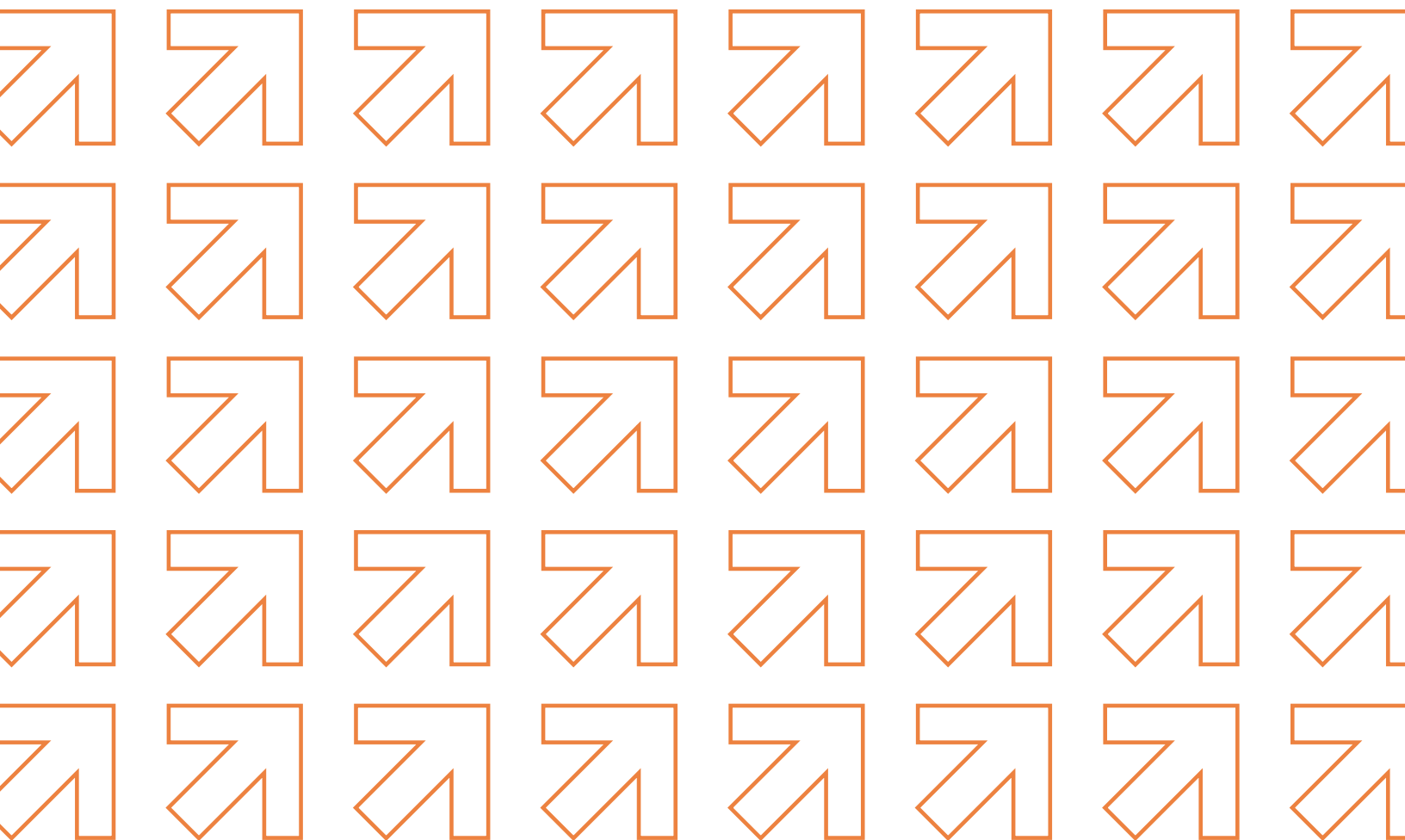
Posición	Empresa	Ciudad principal
1	COLSUBSIDIO	Bogotá
2	Alpina	Sopó (Cundinamarca)
3	Fundación Cardioinfantil-LaCardio	Bogotá
4	ALSEC	Bogotá
5	Schneider Electric	Bogotá
6	Novo Nordisk Colombia	Bogotá
7	Colombina	Cali
8	Esenttia	Cartagena
9	ECOPETROL	Bogotá
10	CiNNOV	Medellín
11	SURA	Medellín
12	Promigas S.A. E.S.P.	Barranquilla
13	RENAULT-Sofasa	Envigado
14	Davivienda	Bogotá
15	COTECMAR	Cartagena
16	GdO, Gases de Occidente	Cali
17	NATURMEGA	Bogotá
18	BANCOLOMBIA	Medellín
19	AIATIC	Medellín
20	Fundación Valle del Lili	Medellín
21	Haceb	Copacabana (Antioquia)
22	Crystal (Gef, Punto Blanco, Baby Fresh)	Medellín
23	Comfama	Medellín
24	Essity (antes Grupo Familia)	Medellín
25	Incolmos Yamaha	Medellín

Fuente: ANDI, gerencia de innovación y emprendimiento

Finalmente, de acuerdo con los datos del Ranking de Innovación Empresarial de la ANDI y la información presentada en la Tabla 3.3, dentro de las 25 empresas más innovadoras del país, 8 tienen origen en Medellín o el Valle de Aburrá (32 %), mientras que Bogotá concentra también 8 organizaciones (32 %). Este resultado evidencia la relevancia del ecosistema antioqueño dentro del panorama nacional de innovación, pese a que Bogotá continúa siendo el principal centro económico del país. En conjunto, estos hallazgos refuerzan la idea planteada a lo largo de este capítulo: Medellín y Antioquia destacan más por la intensidad de su esfuerzo innovador que por la escala de su ecosistema.

4.4.4 Síntesis del bloque de innovación

En innovación, el orden de los bloques anteriores se matiza. Colombia parte de un rezago estructural de inversión y Bogotá concentra la mayor parte de la muestra de empresas de base tecnológica. Pero Antioquia exhibe una de las mayores intensidades de innovación empresarial de la muestra de la ANDI y un ecosistema joven y con presencia destacada en la vertical HealthTech/Biotech. El reto regional no es tanto de capacidad como de escala y de entorno: convertir una intensidad innovadora sobresaliente en un ecosistema de mayor tamaño, sobre una base nacional de inversión que aún debe crecer.



4.5 Apropiación social del conocimiento

La apropiación social del conocimiento (ASC) cierra el sentido de la transferencia, es el conjunto de prácticas mediante las cuales el conocimiento sale del ámbito académico y circula en la sociedad, a través de la comunicación pública de la ciencia, la pedagogía y la apropiación en comunidades y territorios. Si el talento forma personas y la investigación produce conocimiento, la apropiación social es la vía por la que ese conocimiento se pone en diálogo con la ciudadanía (Romero-Rodríguez et al., 2020). En Colombia la ASC esta soportada por la Política Pública de Apropiación Social del Conocimiento en el marco de la CTI (Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación, 2021).

En este diagnóstico, la apropiación social del conocimiento se entiende como una forma de transferencia no mercantil. A diferencia de la transferencia orientada a licencias, patentes, contratos, emprendimientos o soluciones tecnológicas con valor económico directo, la ASC expresa la capacidad del sistema CTel para poner el conocimiento en circulación pública, conectarlo con problemas sociales y territoriales, y hacerlo comprensible, discutible y útil para distintos actores de la sociedad. Su valor no se mide únicamente por retornos productivos, sino por su contribución a la cultura científica, la participación ciudadana, el diálogo de saberes, la confianza en la ciencia y el uso social de la evidencia.

4.5.1 Insumos: una base que apropia de forma transversal

Los insumos para la ASC corresponden a las capacidades, recursos, actores y condiciones institucionales que permiten que el conocimiento científico, tecnológico y de innovación circule, sea comprendido, dialogado y usado por distintos grupos sociales. En esta dimensión,

el interés no está todavía en medir los efectos finales de la apropiación, sino en identificar si el ecosistema cuenta con una base suficiente para promover procesos de encuentro entre ciencia, tecnología y sociedad. Los insumos permiten medir condiciones habilitantes de la ASC, no apropiación efectiva.

Desde esta perspectiva, los insumos de ASC incluyen la existencia de espacios de interacción con la ciudadanía, actores especializados en mediación del conocimiento, programas de divulgación y participación, recursos financieros, plataformas digitales, metodologías participativas, capacidades pedagógicas y mecanismos de articulación con comunidades, instituciones educativas, organizaciones sociales, empresas y entidades públicas. Estos elementos son relevantes porque la ASC no se limita a comunicar resultados científicos, sino que requiere mediaciones, diálogo de saberes, reconocimiento de contextos, participación activa y construcción de confianza entre actores.

Para efectos del diagnóstico, estos insumos permiten observar qué tan preparada está la ciudad para promover procesos de apropiación social del conocimiento. Una mayor disponibilidad de espacios, actores, recursos y metodologías no garantiza por sí misma cambios en cultura científica o capacidades ciudadanas, pero sí constituye una condición habilitante para que el conocimiento circule más allá de los ámbitos académicos y pueda conectarse con problemas públicos, sociales, ambientales y territoriales.

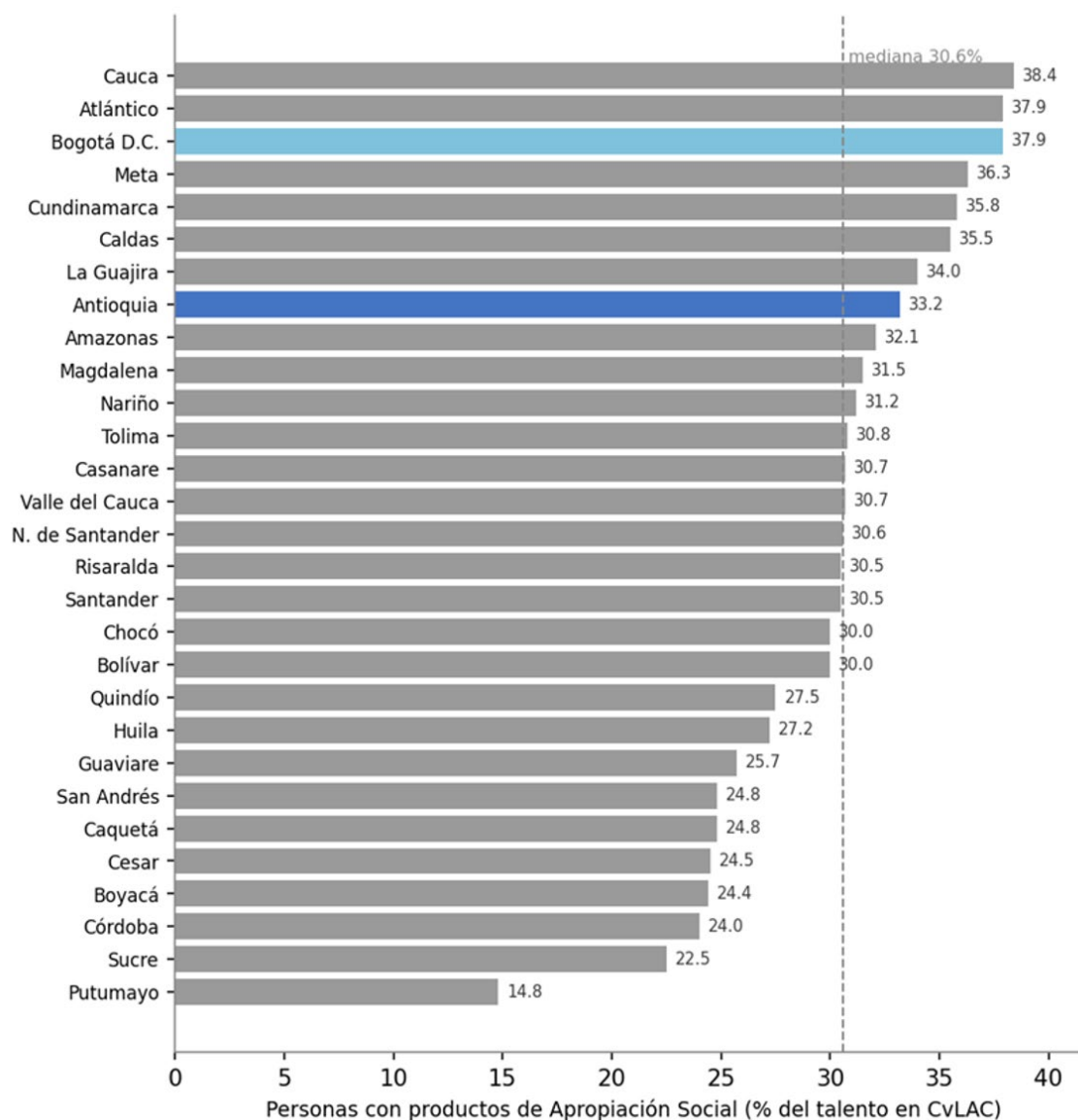
Los insumos de la ASC son los mismos que sostienen la investigación, la base de personas y grupos del sistema. Su rasgo distintivo es la transversalidad, cerca del 99 % de los grupos de investigación, tanto en Antioquia como en Bogotá, registra al menos un producto de apropiación social. La apropiación no es una actividad de unos pocos, sino una práctica generalizada del sistema.

4.5.2 Productos: penetración, distribución y composición

El primer producto es la penetración de la apropiación, es decir, la proporción del talento que realiza al menos una actividad de este tipo. En Antioquia alcanza al 33 % de las personas registradas, una cifra cercana a la

de Bogotá (38 %) y por encima de la mediana nacional (Figura 3.17). La apropiación social es, por tanto, una práctica extendida en el sistema antioqueño. La comparación entre departamentos se restringe a los 29, de 31, que cuentan con una masa investigadora suficiente para que los indicadores sean estables.

Figura 3.17. Penetración de la apropiación social del conocimiento por departamento: porcentaje del talento con al menos un producto de la categoría.



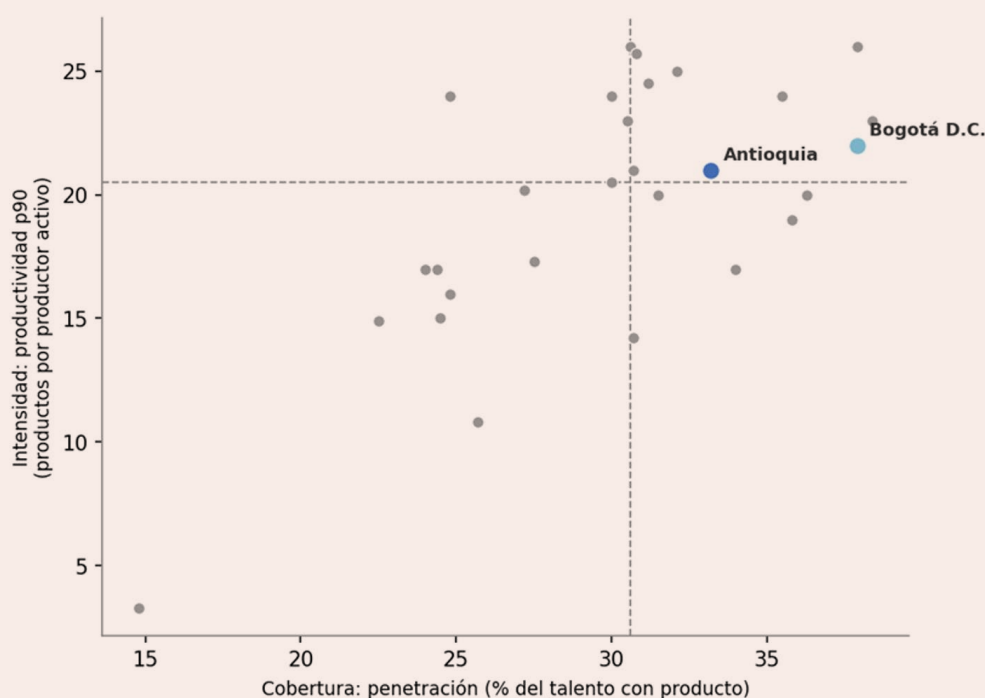
Fuente: ScienTI (Minciencias), cálculos propios.

Vista en perspectiva nacional, la apropiación social aparece democratizada: varios departamentos pequeños encabezan la penetración y Antioquia se ubica en una posición intermedia (Figura 3.17). A diferencia de la investigación, donde la escala y la calidad concentran el liderazgo, la apropiación se distribuye de forma más uniforme por el territorio.

Conviene separar dos preguntas: cuánta gente participa y, entre quienes participan, con qué intensidad lo hace. La penetración

responde la primera; la productividad, medida como la mediana y el percentil 90 de productos por persona y calculada solo sobre quienes producen al menos uno, responde la segunda. Al cruzar ambas (Figura 3.18), Antioquia y Bogotá se ubican en la zona de alta cobertura y de intensidad superior a la mediana nacional. La apropiación antioqueña no solo es extendida sino también intensa, aunque sin separarse marcadamente del patrón de los grandes departamentos del país.

Figura 3.60. Cobertura frente a intensidad: penetración y productividad p90 de la apropiación social, por departamento (Antioquia y Bogotá destacadas).

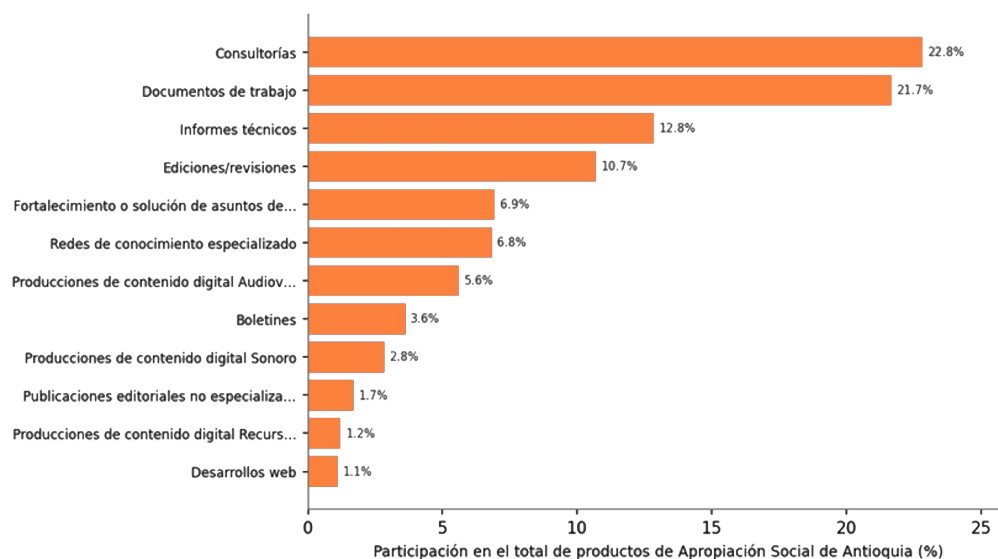


Fuente: ScienTI (Minciencias), cálculos propios.

Dentro de la apropiación social, la composición revela de qué está hecha esa actividad (Figura 3.19). En Antioquia predominan las consultorías y los documentos de trabajo, cada uno cerca de una quinta parte del total, seguidos de los informes técnicos y de las

ediciones y revisiones. La apropiación del sistema antioqueño se apoya, así, sobre todo en productos de carácter aplicado y de asesoría, que ponen el conocimiento a trabajar con actores externos, más que en formatos de divulgación masiva.

Figura 3.61. Composición interna de la apropiación social por subtipo de producto (Antioquia).

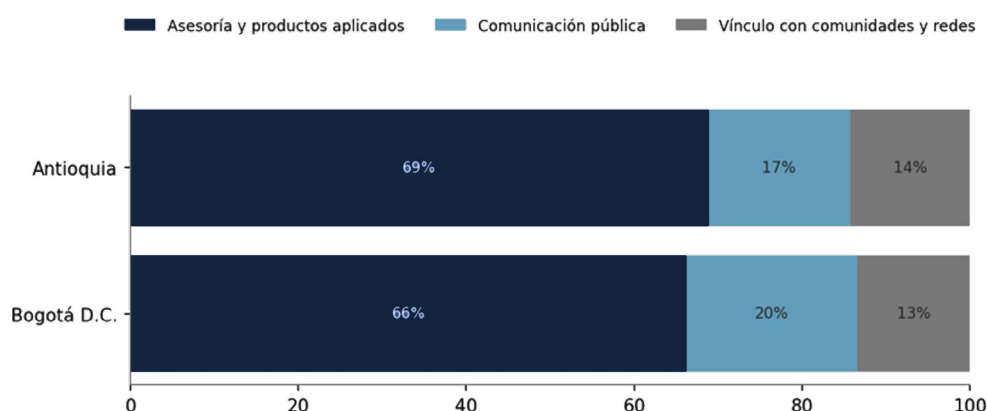


Fuente: ScienTI (Minciencias), cálculos propios.

Para leer la apropiación por su intención, los subtipos de la categoría oficial pueden agruparse según la función que cumplen. Esta agrupación es una lectura propia, no una clasificación de Minciencias, y distingue tres funciones: la asesoría y los productos aplicados, que reúnen consultorías, informes técnicos, documentos de trabajo y ediciones; la comunicación pública de la ciencia, con boletines, contenidos digitales y publicaciones de divulgación; y el vínculo con comunidades y redes, con las redes de conocimiento, el fortalecimiento de asuntos

de interés social y el trabajo con centros de ciencia. Vista así (Figura 3.20), la apropiación de Antioquia se concentra en la asesoría y los productos aplicados, cerca de un 69% del total, frente a un 17% de comunicación pública y un 14% de vínculo con comunidades, con un perfil de Bogotá muy parecido. La lectura matiza el alcance de la apropiación: en ambos territorios predomina un trabajo experto orientado a un actor concreto, más que el diálogo bidireccional y la participación ciudadana que la apropiación social persigue en su sentido más pleno.

Figura 3.62 Composición funcional de la apropiación social (agrupación propia de los subtipos oficiales según su función), Antioquia frente a Bogotá.

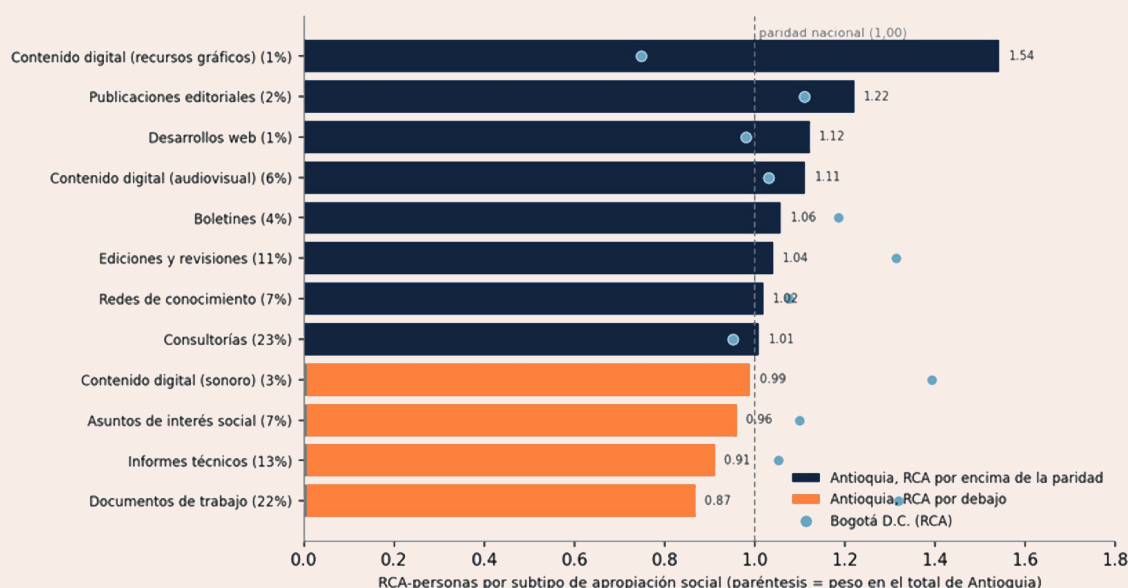


Fuente: ScienTI (Minciencias), cálculos propios.

Al mirar dentro de la categoría, Antioquia y Bogotá dibujan dos perfiles distintos (Figura 3.21). La ventaja relativa de Antioquia está en las consultorías, que concentran casi una cuarta parte de su actividad y donde supera ligeramente a Bogotá, y en los productos digitales y aplicados, como los

recursos gráficos, los desarrollos web y el contenido audiovisual. Bogotá, en cambio, se inclina hacia los documentos de trabajo, las ediciones y revisiones y el contenido sonoro. La apropiación antioqueña es, por tanto, más de asesoría y producto aplicado; la bogotana, más documental y editorial.

Figura 3.63 Especialización por subtipo de apropiación social (RCA-personas): Antioquia frente a Bogotá.



Fuente: ScienTI (Minciencias), cálculos propios.

El balance muestra una apropiación social robusta y transversal en Antioquia, extendida en cobertura y temáticamente amplia: la región registra una de las mayores diversidades de subtipos del país, con una mediana de nueve frente a ocho en Bogotá. Su rasgo distintivo no es la cantidad sino la orientación, marcadamente apoyada en la asesoría y los productos aplicados.

Los hallazgos del bloque sugieren que Medellín cuenta con una base robusta de apropiación social, pero con un perfil más cercano a la asesoría experta y a los productos aplicados que a procesos amplios de participación ciudadana o apropiación territorial. La alta presencia de consultorías, informes

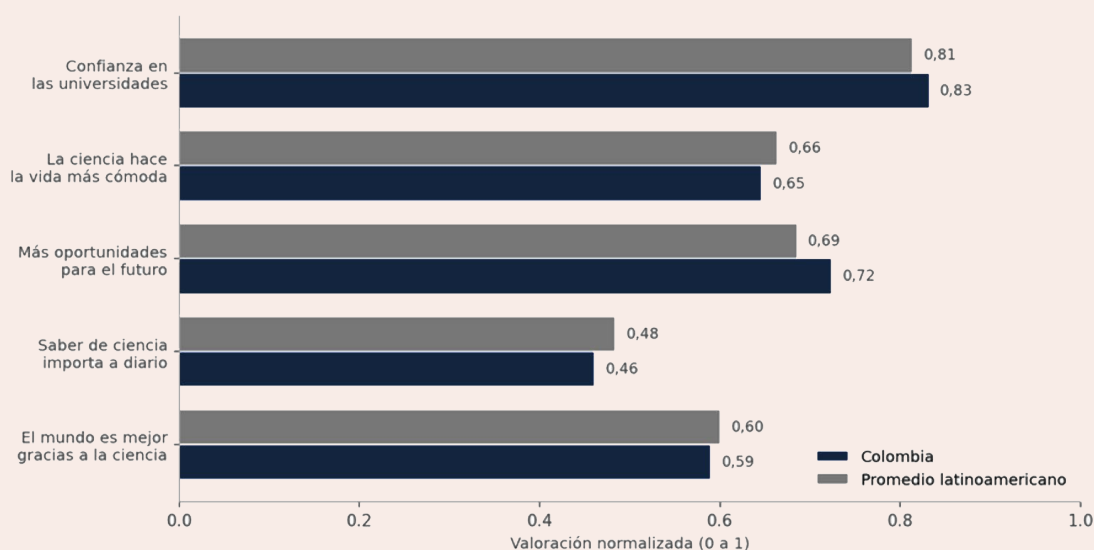
técnicos, documentos de trabajo y productos digitales indica que el conocimiento circula hacia actores externos y se conecta con necesidades prácticas; sin embargo, la menor participación relativa de formatos asociados al diálogo con comunidades, centros de ciencia, redes de conocimiento y procesos de interés social muestra que la dimensión bidireccional de la ASC todavía puede ganar mayor visibilidad. En este sentido, el reto no es solo aumentar la cantidad de productos de apropiación, sino fortalecer procesos donde comunidades, ciudadanía, instituciones públicas, empresas y academia participen en la definición de problemas, la interpretación del conocimiento y la construcción conjunta de soluciones territoriales.

4.5.3 Impactos: credibilidad pública y reto de medición

Los resultados de la apropiación social, es decir, los cambios efectivos en la cultura científica, la participación ciudadana o el diálogo de saberes en los territorios, no son observables con los registros disponibles, que capturan la actividad, pero no su efecto. Su medición rigurosa exige instrumentos específicos, como encuestas de percepción y cultura científica. Un resultado cercano a la apropiación social sí es observable de forma aproximada, la confianza pública en la ciencia. A partir de cinco preguntas de la Encuesta Mundial de Valores sobre la confianza en las

universidades y la valoración social de la ciencia y la tecnología, se construye un indicador sintético normalizado entre 0 y 1 que sitúa a Colombia en una posición intermedia dentro de América Latina, apenas por debajo del promedio regional. Su perfil por componentes es similar al de sus pares, con una valoración algo mayor en la confianza en las universidades y en las oportunidades que la ciencia abre hacia el futuro, y algo menor en la presencia de la ciencia en la vida cotidiana (Figura 3.64). Esa confianza, todavía mejorable, es precisamente el tipo de resultado que una apropiación social sostenida y de calidad busca fortalecer, y dimensiona la magnitud del reto.

Figura 3.64. Perfil de la confianza pública en la ciencia: Colombia frente al promedio latinoamericano, por componente de la Encuesta Mundial de Valores (valores normalizados de 0 a 1).



Fuente: Encuesta Mundial de Valores (WVS); cálculos propios. Cada componente se normaliza por su escala; el promedio regional excluye el valor atípico de Argentina en la confianza en las universidades

Para profundizar en esto se crea un indicador sintético de confianza en la ciencia construido a partir de cinco preguntas de la Encuesta Mundial de Valores asociadas a la confianza en las universidades y a la valoración social de la ciencia y la tecnología. El indicador fue calculado como la suma del puntaje observado sobre el máximo posible, por lo que toma

valores entre 0 y 1, donde valores más altos indican una mayor confianza o valoración social de la ciencia.

Los resultados muestran que Colombia ocupa una posición intermedia dentro del grupo de países latinoamericanos analizados. Con un valor de 0,6304, el país se ubica por debajo

de Argentina, Uruguay, Brasil y México, pero por encima de Perú, Chile, Bolivia y Ecuador. Esto sugiere que en Colombia existe una base relativamente favorable de valoración de la ciencia, aunque no alcanza los niveles observados en los países líderes del grupo. La distancia frente a Argentina, que registra el mayor valor del indicador, es cercana a 7,6 puntos porcentuales, mientras que la diferencia con los países ubicados por debajo de Colombia es menor, lo que indica una posición intermedia pero cercana al bloque medio-bajo de la comparación regional.

Desde la perspectiva de la Apropiación Social del Conocimiento, estos resultados pueden interpretarse como un indicador de resultado cultural. La apropiación social no se limita a la divulgación de contenidos científicos ni a la existencia de capacidades institucionales de investigación; también implica que la ciudadanía reconozca la ciencia como una fuente legítima para comprender problemas, tomar decisiones y proyectar mejoras en la calidad de vida. En este sentido, la confianza en la ciencia refleja una condición habilitante para que el conocimiento producido por universidades, centros de investigación y otros actores del sistema pueda circular, ser comprendido, valorado y eventualmente utilizado por la sociedad.

El caso colombiano muestra una situación ambivalente. Por un lado, el valor del indicador indica que existe una percepción positiva sobre el aporte de la ciencia y la tecnología, especialmente en relación con sus beneficios para la vida cotidiana y las oportunidades futuras. Por otro lado, su posición relativa en el ranking sugiere que esta valoración todavía puede fortalecerse si se compara con otros países de la región. Esto es relevante para el análisis del ecosistema de ciencia, tecnología e innovación, porque la transferencia de conocimiento no depende únicamente de la oferta científica o de los instrumentos institucionales, sino también de la confianza social en quienes producen, comunican y aplican ese conocimiento.

En consecuencia, la confianza en la ciencia puede entenderse como un resultado esperado de procesos sostenidos de Apropiación Social del Conocimiento. Cuando la ciudadanía percibe que la ciencia es útil, cercana y legítima, aumentan las condiciones para que el conocimiento científico tenga incidencia social. Para Colombia, el indicador sugiere que existe una base sobre la cual avanzar, pero también evidencia la necesidad de fortalecer estrategias que acerquen la ciencia a los problemas cotidianos, mejoren la comunicación pública del conocimiento y consoliden la confianza en las instituciones que lo producen.

Tabla 3.4. Confianza en la ciencia según WVS

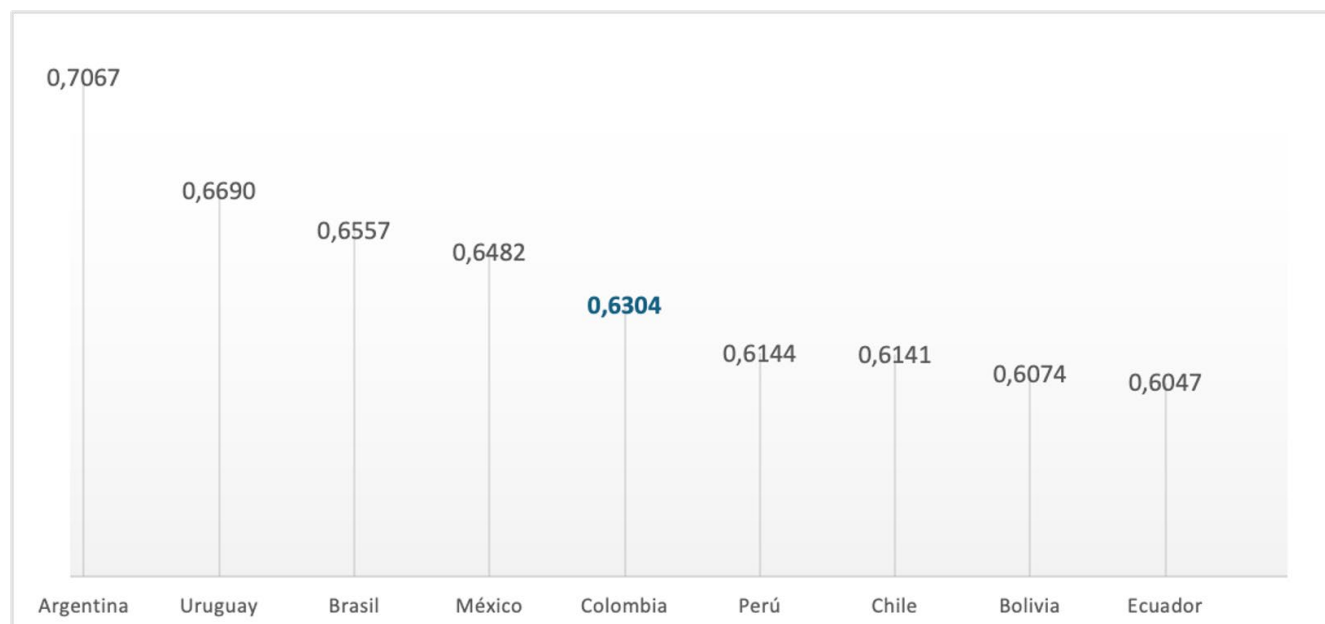
País	Año	Código	Pregunta	Valor	Confianza en la ciencia
Argentina	2017	Q75	¿Qué tanto confía en las universidades?	7,27	0,7067
		Q158	La ciencia y la tecnología hacen nuestras vidas más cómodas	7,57	
		Q159	Gracias a la ciencia y la tecnología habrá más oportunidades para las generaciones futuras	4,6	
		Q162	Es importante saber de ciencia en la vida diaria	6,18	
		Q163	El mundo está mejor por la ciencia y la tecnología	6,18	

País	Año	Código	Pregunta	Valor	Confianza en la ciencia
Uruguay	2022	Q75	¿Qué tanto confía en las universidades?	4,286	0,6690
		Q158	La ciencia y la tecnología hacen nuestras vidas más cómodas	6,89	
		Q159	Gracias a la ciencia y la tecnología habrá más oportunidades para las generaciones futuras	7,42	
		Q162	Es importante saber de ciencia en la vida diaria	4,93	
		Q163	El mundo está mejor por la ciencia y la tecnología	6,58	
Brasil	2018	Q75	¿Qué tanto confía en las universidades?	3,93	0,6557
		Q158	La ciencia y la tecnología hacen nuestras vidas más cómodas	6,71	
		Q159	Gracias a la ciencia y la tecnología habrá más oportunidades para las generaciones futuras	7,13	
		Q162	Es importante saber de ciencia en la vida diaria	5,51	
		Q163	El mundo está mejor por la ciencia y la tecnología	6,23	
México	2018	Q75	¿Qué tanto confía en las universidades?	4,058	0,6482
		Q158	La ciencia y la tecnología hacen nuestras vidas más cómodas	6,87	
		Q159	Gracias a la ciencia y la tecnología habrá más oportunidades para las generaciones futuras	7,52	
		Q162	Es importante saber de ciencia en la vida diaria	4,26	
		Q163	El mundo está mejor por la ciencia y la tecnología	6,46	
Colombia	2018	Q75	¿Qué tanto confía en las universidades?	4,16	0,6304
		Q158	La ciencia y la tecnología hacen nuestras vidas más cómodas	6,46	
		Q159	Gracias a la ciencia y la tecnología habrá más oportunidades para las generaciones futuras	7,24	
		Q162	Es importante saber de ciencia en la vida diaria	4,61	
		Q163	El mundo está mejor por la ciencia y la tecnología	5,9	

País	Año	Código	Pregunta	Valor	Confianza en la ciencia
Perú	2018	Q75	¿Qué tanto confía en las universidades?	3,879	0,6144
		Q158	La ciencia y la tecnología hacen nuestras vidas más cómodas	6,49	
		Q159	Gracias a la ciencia y la tecnología habrá más oportunidades para las generaciones futuras	6,9	
		Q162	Es importante saber de ciencia en la vida diaria	4,61	
		Q163	El mundo está mejor por la ciencia y la tecnología	5,77	
Chile	2018	Q75	¿Qué tanto confía en las universidades?	4,073	0,6141
		Q158	La ciencia y la tecnología hacen nuestras vidas más cómodas	6,42	
		Q159	Gracias a la ciencia y la tecnología habrá más oportunidades para las generaciones futuras	6,82	
		Q162	Es importante saber de ciencia en la vida diaria	4,7	
		Q163	El mundo está mejor por la ciencia y la tecnología	5,62	
Bolivia	2017	Q75	¿Qué tanto confía en las universidades?	3,973	0,6074
		Q158	La ciencia y la tecnología hacen nuestras vidas más cómodas	6,4	
		Q159	Gracias a la ciencia y la tecnología habrá más oportunidades para las generaciones futuras	7,07	
		Q162	Es importante saber de ciencia en la vida diaria	4,35	
		Q163	El mundo está mejor por la ciencia y la tecnología	5,54	
Ecuador	2018	Q75	¿Qué tanto confía en las universidades?	4,2	0,6047
		Q158	La ciencia y la tecnología hacen nuestras vidas más cómodas	5,92	
		Q159	Gracias a la ciencia y la tecnología habrá más oportunidades para las generaciones futuras	7	
		Q162	Es importante saber de ciencia en la vida diaria	4,37	
		Q163	El mundo está mejor por la ciencia y la tecnología	5,72	

Fuente: Elaboración y cálculos propios. Notas: 1. Q75 rango (1 – 5), Q158, Q159, 162, Q163 rango (1 – 10).
2. Confianza en la Ciencia calculada como suma total sobre el máximo posible. Rango (0 – 1).

Figura 3.65. Confianza en la Ciencia Nota. 1. Calculada como suma total sobre el máximo posible. Rango (0 – 1).



Existe, además, un canal de impacto de la apropiación social que sí deja un rastro observable, la incorporación de la producción científica de las universidades en los documentos de política. Cuando una norma, un plan o un documento técnico de un gobierno o de un organismo internacional cita un artículo producido por una universidad de la ciudad, ese conocimiento ha salido del ámbito académico y ha entrado en la deliberación pública, que es justamente el efecto que la apropiación social persigue. El indicador no captura la cultura científica ciudadana ni el diálogo de saberes, pero ofrece una medida concreta de uno de los resultados que el propio diagnóstico se propone seguir, el uso de evidencia en las políticas. La literatura cienciométrica respalda este uso, las menciones de la producción científica en documentos de política se han consolidado como una fuente para medir el impacto social de la investigación (Bornmann et al., 2016), y la base que las rastrea, Overton, muestra correspondencia con las evaluaciones de impacto por pares (Szomszor & Adie, 2022).

Para el periodo 2020 a 2025 se observan dos métricas complementarias, construidas a partir de SciVal. La producción citada por políticas cuenta cuántas publicaciones de cada institución han sido citadas al menos una vez por un documento de política. Los documentos de política citantes cuentan cuántos de esos documentos recurren a la producción de la institución. La fuente rastrea documentos de política mayormente de alcance internacional e indexados, de modo que refleja sobre todo la producción de mayor visibilidad y ciertos campos, como salud, ambiente y economía, antes que la divulgación local en español.

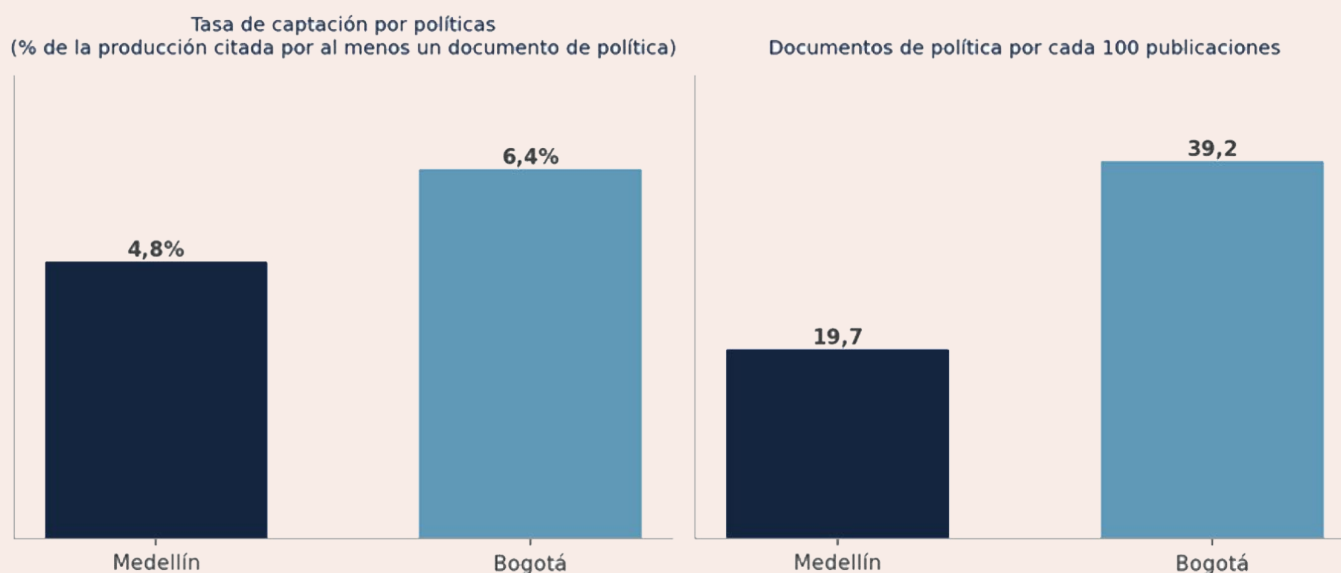
En totales, Medellín reúne cerca de 908 publicaciones citadas por políticas y 3.744 documentos de política que las citan, frente a unas 2.071 publicaciones y 12.786 documentos en Bogotá. Buena parte de esa distancia refleja la diferencia de tamaño de los dos sistemas, no una brecha de desempeño, de modo que el indicador se expresa como tasa, la fracción de la producción total de cada ciudad que es

citada por al menos un documento de política. Con la escala bajo control, la diferencia se reduce de forma marcada, cerca del 4,8% de la producción de Medellín es citada por políticas frente al 6,4% de la de Bogotá (Figura 3.66). La capital conserva una ventaja en la amplitud con que esa producción se usa, alrededor de 39 documentos de política por cada cien publicaciones frente a 20 en Medellín, una diferencia que se concentra en sus universidades privadas de alta visibilidad.

Medir en tasa, y no en totales, hace que la comparación no dependa del tamaño relativo de las ciudades ni del tratamiento de la Universidad Nacional. Como el cociente usa el mismo conjunto de instituciones en el numerador y en el denominador, la Universidad Nacional queda fuera de ambos por igual y

su ubicación no altera la lectura; su sede de Medellín, con una producción considerable, es además un actor público que la cifra antioqueña no alcanza a recoger, así que ese dato se lee como un piso. Dentro de Medellín el alcance está muy concentrado, la Universidad de Antioquia explica cerca de dos terceras partes de las publicaciones citadas y de los documentos citantes de la ciudad, seguida de lejos por EAFIT, la Universidad Pontificia Bolivariana, el CES y la Universidad de Medellín, lo que reproduce en el plano del impacto la concentración de la excelencia observada en la investigación. Una salvedad de lectura, los años más recientes subestiman el fenómeno, porque la incorporación de un artículo en los documentos de política toma tiempo y se sigue acumulando después de su publicación.

Figura 3.66. Tasa de captación por políticas (porcentaje de la producción total citada por al menos un documento de política) y documentos de política por cada cien publicaciones, por ciudad (2020-2025).



Fuente: SciVal (Overton y Scholarly Output); cálculos propios. La tasa controla la diferencia de escala entre las ciudades; el cociente excluye a la Universidad Nacional del numerador y del denominador por igual.

Dado lo anterior es importante iniciar una conversación sobre como medir los outcomes e impactos de la ASC en la ciudad de Medellín. La medición de outcomes e impactos de la ASC a escala de ciudad debe entenderse como una aproximación a cambios culturales, sociales e institucionales asociados a la relación entre ciencia, tecnología, innovación y ciudadanía. A diferencia de una medición centrada en intervenciones específicas, el análisis a nivel urbano busca identificar si la ciudad cuenta con una ciudadanía más interesada, informada y capaz de usar conocimiento; si existen mayores niveles de confianza en la ciencia; si los actores sociales participan en procesos de diálogo y cocreación; y si el conocimiento se incorpora de manera más visible en la discusión pública, las decisiones institucionales y la solución de problemas territoriales (Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación, 2021; Romero-Rodríguez et al., 2020).

Dado que Medellín no cuenta actualmente con un sistema consolidado de indicadores locales sobre ASC, una posible estrategia a implementar es avanzar hacia una medición basada en encuestas ciudadanas periódicas, registros administrativos georreferenciados, análisis de participación territorial, seguimiento a procesos de cocreación y revisión del uso de evidencia en políticas, programas y debates públicos. En este nivel, los indicadores no deben interpretarse como mediciones causales definitivas, sino como señales de cambio en la cultura científica y en la capacidad social de apropiarse del conocimiento. En la Tabla 2 se presentan algunos indicadores propuestos para lograr este objetivo en el mediano o largo plazo.

Tabla 3.5. Indicadores propuestos para medir impacto de ASC en el futuro

Tipo de outcome o impacto	Indicador propuesto	Formula de calculo
Confianza pública en la ciencia	Índice local de confianza en la ciencia	Promedio normalizado de respuestas sobre confianza en científicos, universidades, centros de investigación, datos y evidencia científica. Escala 0-100.
Interés ciudadano en CTI	Porcentaje de población interesada en ciencia, tecnología e innovación	Personas que reportan interés alto o muy alto en temas científicos, tecnológicos, datos o innovación / total de encuestados × 100.
Alfabetización científica ciudadana	Puntaje promedio de comprensión científica básica	Respuestas correctas sobre evidencia, datos, experimentación, o tecnología / total de preguntas × 100.
Tipo de outcome o impacto	Indicador propuesto	Formula de calculo
Uso cotidiano del conocimiento	Porcentaje de ciudadanos que usa información científica o técnica para tomar decisiones	Personas que reportan usar evidencia, datos o fuentes expertas en decisiones de salud, ambiente, educación, consumo, movilidad o participación ciudadana / total de encuestados × 100.

Percepción de utilidad social del conocimiento	Porcentaje de ciudadanos que considera que la ciencia ayuda a resolver problemas de ciudad	Personas que están de acuerdo o muy de acuerdo con que la ciencia y la tecnología contribuyen a resolver problemas de Medellín / total de encuestados × 100.
Uso de evidencia en política pública	Porcentaje de políticas, programas o proyectos públicos que incorporan evidencia científica o técnica	Documentos de política, programas o proyectos con diagnóstico técnico, datos, evaluación, pilotos o evidencia explícita / total de documentos revisados × 100.
Vocaciones científicas y tecnológicas	Porcentaje de jóvenes interesados en trayectorias STEM/CTI	Jóvenes que reportan interés en estudiar, trabajar o emprender en áreas STEM, ciencia, tecnología o innovación / total de jóvenes encuestados × 100.

Fuente: Elaboración propia a partir de (Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación, 2021; Romero-Rodríguez et al., 2020; Wellcome Trust, 2018; World Values Survey Association (WVS), 2020)

4.5.5 Síntesis del bloque de apropiación social

En apropiación social del conocimiento, Antioquia muestra un sistema activo y transversal: cerca de una de cada tres personas del talento registrado realiza actividades de apropiación y prácticamente todos los grupos participan. Su perfil, se apoya sobre todo en la asesoría y los productos aplicados, como consultorías, informes técnicos y documentos de trabajo, más que en la comunicación pública o el diálogo directo con las comunidades, lo que apunta a una apropiación más experta que bidireccional. A diferencia de la investigación, aquí la región no lidera ni se especializa frente al país: la práctica está democratizada y Bogotá conserva una ligera ventaja relativa, aunque ambas comparten una orientación parecida y Antioquia se distingue por su énfasis en la consultoría y en los productos digitales y aplicados. A esa lectura se suma una señal de impacto observable, la producción científica de

la ciudad alimenta la deliberación de política, y al expresarla como tasa su propensión a ser citada se acerca a la de Bogotá, que conserva ventaja en la amplitud con que su ciencia se usa, lo que confirma el carácter experto y aplicado de su apropiación.

En síntesis, la apropiación social del conocimiento en Medellín puede leerse como una forma relevante de transferencia no mercantil que permite que el conocimiento circule hacia actores externos, alimente decisiones públicas y genere capacidades sociales más allá de los mecanismos productivos o tecnológicos tradicionales. Sin embargo, el perfil observado muestra una apropiación más experta y aplicada que plenamente territorial o participativa, lo que abre el reto de fortalecer procesos de diálogo ciudadano, co-creación, confianza pública en la ciencia y uso social del conocimiento en los territorios.

4.6 Medellín en la cadena de transferencia

Los cinco bloques permiten una lectura de conjunto del ecosistema en clave de insumos, productos e impactos. En los insumos y los productos, Medellín y Antioquia muestran un sistema robusto: una base de talento amplia, una producción científica de calidad comparable a la de Bogotá una vez se controla la escala, una actividad tecnológica que protege conocimiento, un tejido innovador con sello propio y una apropiación social extendida en el sistema. Donde la evidencia se vuelve más escasa es en los impactos, es decir, en los efectos últimos del conocimiento, que los registros disponibles capturan solo de forma parcial.

Por encima de cada dimensión, los indicadores dejan ver dos rasgos comunes. La base de talento creció por debajo del país en la última década, una señal que merece atención. Y las fortalezas tienden a concentrarse, en pocas instituciones y en ciertos campos, tanto en la investigación como en la apropiación. A esos rasgos compartidos, cada dimensión suma su propio perfil, que el cuadro recoge de forma sintética.

El cuadro siguiente resume, para cada dimensión, el hallazgo principal en clave de insumo, producto e impacto y una primera lectura de su significado para la transferencia. Ese significado se retoma y se desarrolla en las secciones siguientes, donde el ecosistema se analiza como una cadena y se derivan las implicaciones para la acción.

Tabla 3.6. Síntesis por dimensión de los indicadores del ecosistema, en clave de insumo, producto e impacto, y su significado para la transferencia de conocimiento. Elaboración propia.

Dimensión	Hallazgo principal (insumo, producto, impacto)	Qué significa para la transferencia
Talento	Base que dejó de crecer (matrícula estancada frente al país), que forma sobre todo fuera de las áreas STEM, con buena inserción de técnicos y tecnólogos.	El insumo de toda la cadena tiene techo; sin ampliar y reorientar el talento, los eslabones siguientes se saturan.
Investigación	Produce ciencia de calidad comparable a la de Bogotá pero a menor escala, con fortalezas reveladas en salud, química y ambiente.	Hay materia prima transferible, pero dispersa; el reto es priorizar las capacidades con demanda real.
Tecnología	Solicita y obtiene protección, pero pocas tecnologías llegan al mercado; la compuerta más estrecha es de la patente a la adopción.	El conocimiento protegido no se convierte en valor; falta transferencia y adopción, no generación.
Innovación	Dos modelos coexisten, intensidad de inversión en ACTI (Medellín) frente a un ecosistema EBCT más amplio (Bogotá), con fuerte vertical de salud y biotecnología.	La capacidad de innovar existe pero es desigual; la absorción en micro y pequeñas empresas es el límite.
Apropiación social	Apropiación transversal pero de perfil experto (consultorías e informes), con baja confianza pública; su ciencia sí alimenta los documentos de política.	El conocimiento circula hacia expertos y decisiones, menos hacia la ciudadanía; el reto es el diálogo social y la medición.

5.

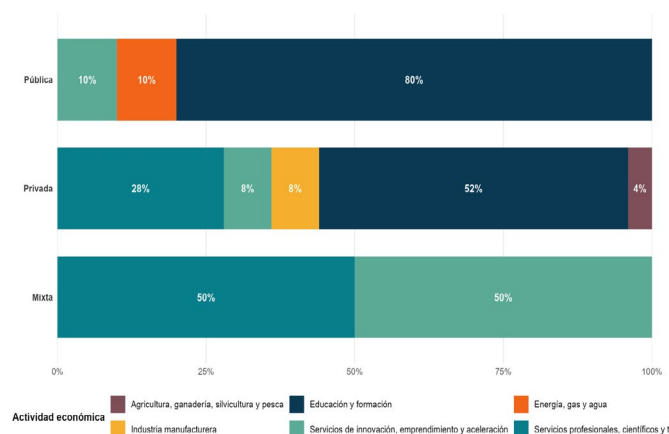
Explorando a profundidad las capacidades y percepciones de los principales actores del sistema

En este apartado se busca caracterizar, a partir de las encuestas de información y servicios de CTI realizadas a los actores del ecosistema de Medellín, la situación actual de las organizaciones que lo integran. En primer lugar, se analiza su ubicación geográfica y naturaleza jurídica. En segundo lugar, se describen las características del capital humano vinculado a estas organizaciones, así como sus capacidades de capital físico, tecnológico y de inversión. Finalmente, se examinan los principales servicios ofrecidos dentro del ecosistema, con el propósito de comprender las capacidades de generación, transferencia y apropiación del conocimiento presentes en la ciudad.

5.1 Naturaleza jurídica y actividad económica

Al analizar la relación entre la naturaleza jurídica de las organizaciones y su actividad económica principal de acuerdo a la Figura 4.1, se observa que la educación y formación constituye la actividad dominante dentro del ecosistema. En las entidades públicas, esta actividad representa aproximadamente el 80% de los actores identificados, mientras que en las organizaciones privadas concentra poco más de la mitad de las instituciones participantes.

Figura 4.1: Porcentaje de actores CTI por naturaleza y sector.



Nota: elaboración propia a partir de datos de la encuesta de actores CTI en Medellín.

suelen actuar como intermediarias entre universidades, empresas y sector público. Finalmente, la existencia de una amplia oferta de conocimiento no garantiza por sí misma su utilización, especialmente cuando las capacidades de absorción de los usuarios finales son heterogéneas.

Por su parte, las entidades mixtas muestran una participación equilibrada entre actividades educativas y servicios de innovación, lo que evidencia su papel como organizaciones puente dentro del ecosistema. Este hallazgo resulta particularmente relevante desde la perspectiva de la transferencia de conocimiento, pues estas instituciones

La ubicación geográfica de los actores muestra una alta dispersión espacial dentro del territorio urbano de Medellín como muestra la Figura 4.2. El mapa evidencia que las comunas de El Poblado, La Candelaria y Robledo concentran la mayor proporción de organizaciones vinculadas al ecosistema de transferencia de conocimiento.

Tecnova 

El Poblado se consolida como el principal nodo territorial, agrupando cerca de una tercera parte de los actores identificados. Esta concentración puede explicarse por la localización de empresas tecnológicas, organizaciones de apoyo al emprendimiento, centros corporativos y entidades dedicadas a la innovación empresarial. La Candelaria, por su parte, alberga una presencia significativa de instituciones públicas y educativas, mientras que Robledo concentra importantes capacidades universitarias y científicas asociadas a varias instituciones de educación superior.

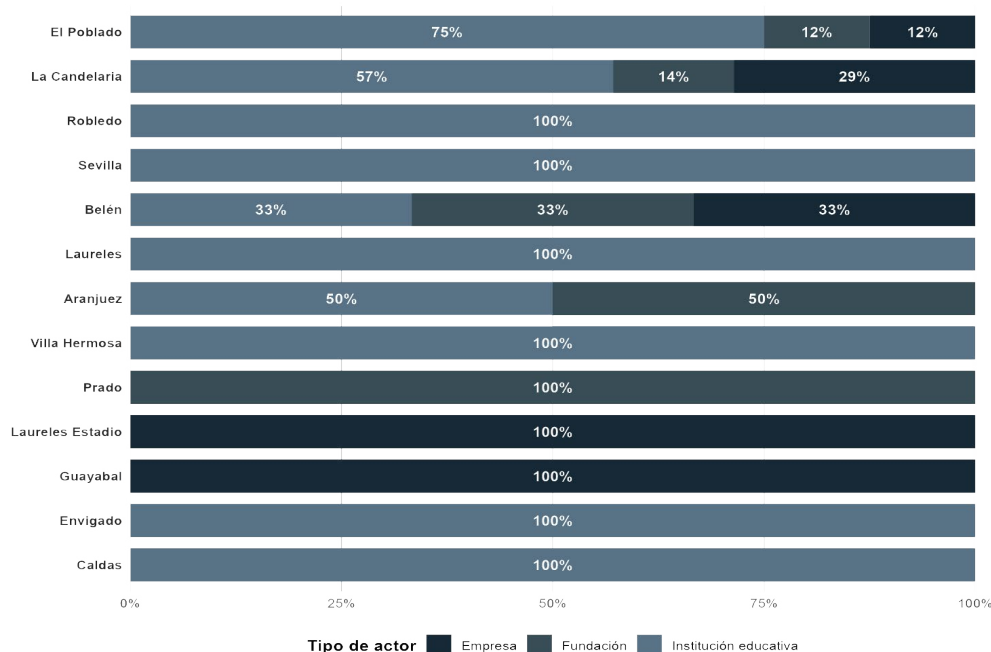
En contraste, una parte importante de las comunas registra una participación muy reducida o incluso nula dentro de la muestra de actores analizados. Esta distribución territorial evidencia que las capacidades de generación y transferencia de conocimiento no están homogéneamente distribuidas dentro del Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín, sino que tienden a concentrarse en determinados corredores institucionales y económicos.

Este patrón coincide con la literatura sobre sistemas regionales de innovación, que muestra cómo las capacidades científicas, tecnológicas y empresariales suelen aglomerarse territorialmente, generando ventajas de proximidad, interacción y aprendizaje colectivo. Sin embargo, también plantea desafíos para la democratización del acceso al conocimiento y para la extensión de los beneficios de la innovación hacia otros territorios y comunidades de la ciudad.

5.3 Tipología de actores por territorio

La composición de actores varía significativamente entre comunas. En territorios como El Poblado, Robledo, Laureles, Villa Hermosa, Envigado y Caldas predominan claramente las instituciones educativas. En varios de estos territorios las organizaciones identificadas corresponden exclusivamente a universidades, instituciones de educación superior o centros asociados a actividades de formación.

Figura 4.3: Porcentaje de actores CTI por tipo y comuna.



Nota: elaboración propia a partir de datos de la encuesta de actores CTI en Medellín.

De igual manera, la Figura 4.3 muestra que la Candelaria presenta una composición más diversa, donde conviven instituciones educativas, fundaciones y empresas. De manera similar, Belén muestra una distribución relativamente equilibrada entre los tres tipos de organizaciones. Estos territorios parecen desempeñar un papel de articulación entre generación de conocimiento, intermediación y aplicación práctica.

Por su parte, Laureles Estadio y Guayabal registran una presencia exclusivamente empresarial dentro de la muestra observada, mientras que Prado aparece dominado por organizaciones clasificadas como fundaciones. Aunque el número de observaciones en algunos territorios es reducido, estos patrones sugieren la existencia de especializaciones funcionales dentro del ecosistema.

Desde la perspectiva de la transferencia de conocimiento, esta heterogeneidad territorial resulta especialmente importante. Los territorios con mayor diversidad institucional podrían facilitar procesos de interacción entre productores y usuarios de conocimiento, mientras que aquellos dominados por un único tipo de actor podrían enfrentar mayores dificultades para desarrollar dinámicas completas de generación, intermediación y adopción. Finalmente, algo para resaltar es que la mayoría de actores CTI son centros educativos y pocas empresas, siendo estas últimas ubicadas principalmente en la zona sur del país.

5.4 Capital humano y físico del ecosistema CTI

El ecosistema CTI de Medellín se caracteriza por una elevada disponibilidad de talento dedicado a actividades relacionadas con la generación, transferencia y apropiación del conocimiento, así, los datos presentados a continuación son extraídos y procesados de la encuesta de actores.

5.4.1 Capital humano

5.4.1.1 Dedicación a actividades CTI

De esta manera, el 58,4% del personal reportado trabaja con dedicación exclusiva en actividades asociadas al ecosistema, mientras que el 41,6% restante participa de manera parcial. Esta distribución sugiere la existencia de una masa crítica de profesionales cuya actividad principal está directamente vinculada con procesos de ciencia, tecnología e innovación.

Este resultado es particularmente relevante porque la literatura señala que las capacidades organizacionales dependen no solamente del nivel educativo de los trabajadores, sino también de la intensidad con la que las organizaciones destinan recursos humanos a actividades de innovación. La elevada proporción de personal con dedicación exclusiva indica que los actores del ecosistema han desarrollado estructuras organizacionales relativamente especializadas para gestionar conocimiento y procesos de innovación.

5.4.1.2 Distribución por sexo

La composición por sexo presenta un notable equilibrio. Los hombres representan el 50,2% del personal identificado, mientras que las mujeres alcanzan el 49,8%. Esta distribución constituye una fortaleza importante del ecosistema, especialmente considerando que numerosos sistemas de innovación en América Latina continúan presentando brechas significativas de participación femenina en actividades científicas y tecnológicas.

La evidencia sugiere que el ecosistema CTI de Medellín ha logrado consolidar una participación relativamente paritaria del talento humano, condición que amplía la diversidad de capacidades, perspectivas y experiencias disponibles para los procesos de innovación.

5.4.1.3 Formación del talento humano

Los datos muestran que el ecosistema CTI de Medellín cuenta con un capital relativamente calificado. Más de la mitad del personal reportado posee estudios de posgrado: el 27,1% cuenta con formación de maestría, el 19,3% con especialización y el 8,2% con doctorado. En conjunto, estas categorías representan el 54,6% del total del talento humano identificado, lo que evidencia una importante capacidad técnica y científica dentro de las organizaciones participantes.

Por su parte, los profesionales con formación de pregrado constituyen el 25,1% del personal, consolidándose como el segundo grupo más numeroso después de quienes poseen maestría. En contraste, los niveles de formación técnica y tecnológica representan una proporción relativamente reducida, con un 2,8% para tecnología y menos del 1% para educación secundaria o contratos de aprendizaje.

Un aspecto relevante es que el 16,9% de los registros corresponde a personal sin especificar nivel educativo. Aunque esta categoría limita parcialmente la caracterización del talento humano, la evidencia disponible sigue mostrando una fuerte concentración de trabajadores con educación superior y formación avanzada.

Por su parte, la literatura también señala que la disponibilidad de talento altamente calificado no garantiza por sí sola mayores niveles de innovación; el reto consiste en articular estas capacidades con mecanismos efectivos de absorción tecnológica, transferencia de conocimiento y adopción por parte del sector productivo. En este sentido, la estructura educativa observada indica que el ecosistema cuenta con los recursos humanos necesarios para impulsar procesos de innovación, aunque su impacto dependerá de la capacidad de las organizaciones para convertir dicho conocimiento en soluciones, productos y servicios con valor económico y social.

5.4.1.4 Áreas de conocimiento predominantes

La distribución por áreas de conocimiento muestra una fuerte concentración en salud y bienestar, que representa aproximadamente el 39,3% del personal reportado. Esta participación supera ampliamente a cualquier otra disciplina y evidencia la importancia que tiene el sector salud dentro del ecosistema CTI de la ciudad.

La segunda área más importante corresponde a ingeniería, arquitectura y urbanismo (19,9%), seguida por administración de empresas y derecho (14,1%). Posteriormente aparecen arte y humanidades (9,3%) y ciencias sociales y comunicación (5,7%).

Esta combinación resulta particularmente interesante porque sugiere que el ecosistema no se encuentra especializado exclusivamente en disciplinas STEM. Por el contrario, existe una mezcla de capacidades científicas, tecnológicas, administrativas y sociales que favorecen procesos de innovación interdisciplinarios.

Desde la perspectiva de transferencia de conocimiento, esta diversidad disciplinaria puede facilitar la traducción de resultados científicos hacia aplicaciones concretas en sectores productivos y sociales.

5.4.1.5 Actividades desarrolladas

Las actividades reportadas permiten comprender mejor la función que desempeña el talento humano dentro del ecosistema. La principal actividad corresponde a la apropiación social del conocimiento (34,0%), seguida por gestión del conocimiento (24,0%) y gestión de proyectos de CTI (13,9%). Este resultado es particularmente significativo porque revela que una proporción considerable del talento humano se encuentra dedicada a conectar conocimiento con usuarios potenciales, más que exclusivamente a actividades de investigación básica.

En otras palabras, los actores encuestados parecen estar orientando una parte importante de sus recursos humanos hacia funciones de intermediación, difusión y transferencia, precisamente los mecanismos que la literatura identifica como fundamentales para cerrar la brecha entre generación y uso del conocimiento.

5.4.2 Capital tecnológico y físico

Además del capital humano, el ecosistema CTI de Medellín cuenta con una base importante de infraestructura física, tecnológica y organizacional para soportar actividades de innovación y transferencia.

5.4.2.1 Financiamiento

La principal fuente de financiación corresponde a recursos propios, que representan aproximadamente el 43,1% del total reportado. Esto indica que buena parte de las actividades de innovación se sostienen mediante capacidades financieras internas de las organizaciones.

La segunda fuente corresponde a recursos provenientes de otras empresas (17,9%), seguida por recursos públicos distritales (15,4%) y recursos públicos nacionales (12,9%).

La participación relativamente alta de recursos propios constituye una señal positiva de sostenibilidad institucional. Sin embargo, también puede reflejar limitaciones en la disponibilidad de mecanismos externos de financiamiento especializados para innovación.

5.4.2.2 Infraestructura institucional

La encuesta muestra que la infraestructura del ecosistema CTI de Medellín se encuentra relativamente balanceada entre capacidades físicas, tecnológicas y de gestión del conocimiento. La categoría más frecuente

corresponde a la infraestructura de espacios físicos (26,7%), seguida por la infraestructura de equipos científicos y tecnológicos (21,0%) y las capacidades para análisis de datos (19,0%). En conjunto, estas tres categorías representan cerca de dos terceras partes de la infraestructura reportada por los actores encuestados.

Este resultado sugiere que el ecosistema ha avanzado en la construcción de capacidades tangibles para la generación y aplicación del conocimiento. La presencia de espacios especializados, laboratorios y equipamiento científico constituye una condición necesaria para el desarrollo de actividades de investigación aplicada, experimentación y validación tecnológica. Al mismo tiempo, la relevancia de las capacidades asociadas al análisis de datos refleja una adaptación creciente hacia modelos de innovación intensivos en información, analítica y transformación digital.

Por otra parte, la infraestructura para divulgación de la ciencia (18,1%) y los recursos basados en conocimiento (15,2%) muestran que los actores no solo han invertido en la producción de conocimiento, sino también en mecanismos para su almacenamiento, circulación y comunicación. Este aspecto resulta especialmente relevante desde la perspectiva de la transferencia de conocimiento, ya que la evidencia internacional muestra que muchas innovaciones fracasan no por falta de investigación o equipamiento, sino por debilidades en los mecanismos que permiten difundir y compartir dicho conocimiento entre organizaciones y usuarios potenciales.

En conjunto, la distribución observada sugiere que Medellín ha logrado construir una base relativamente completa de infraestructura para la innovación, combinando capacidades de generación, análisis y difusión del conocimiento

5.4.2.3 Capacidades de análisis de datos

Las capacidades relacionadas con datos muestran un ecosistema relativamente maduro. Así, los datos revelan que las capacidades de análisis de datos del ecosistema se concentran principalmente en actividades relacionadas con el ciclo básico de gestión de información. El almacenamiento de datos representa el 28,6% de la infraestructura reportada, seguido por el procesamiento de datos (24,2%) y la visualización de datos (22,0%). En conjunto, estas tres categorías concentran cerca del 75% de las capacidades identificadas, evidenciando que la mayor parte de los actores ha desarrollado herramientas para capturar, organizar, procesar y comunicar información.

Un resultado particularmente relevante es que el 19,8% de la infraestructura corresponde a herramientas de análisis estadístico y machine learning. Aunque esta proporción es inferior a las categorías básicas de gestión de datos, su magnitud sugiere la existencia de capacidades avanzadas para la explotación analítica de la información, la generación de conocimiento y el apoyo a la toma de decisiones basada en evidencia. Por el contrario, las capacidades más sofisticadas asociadas a computación científica, modelación y simulación computacional presentan una participación marginal (1,1% cada una). Esto indica que, si bien el ecosistema ha avanzado significativamente en la adopción de herramientas de análisis de datos, todavía existe un espacio importante para fortalecer capacidades de frontera relacionadas con simulación avanzada, gemelos digitales, modelamiento predictivo y computación de alto desempeño.

5.4.2.4 Recursos basados en conocimiento

La base muestra que los recursos basados en conocimiento del ecosistema CTI de Medellín se concentran principalmente en bases de datos (28,2%) y plataformas de aprendizaje en línea (28,2%), seguidas por bibliotecas digitales (24,7%). Estos resultados sugieren

que los actores han desarrollado mecanismos sólidos para almacenar, acceder y difundir información especializada. Por su parte, las comunidades en línea y redes temáticas representan el 15,3%, evidenciando la existencia de espacios para el intercambio de experiencias y la colaboración entre actores. En conjunto, esta infraestructura favorece los procesos de aprendizaje, absorción tecnológica y circulación del conocimiento dentro del ecosistema.

5.4.2.5 Equipamiento científico y tecnológico

Por su parte, la infraestructura tecnológica del ecosistema CTI de Medellín se concentra principalmente en equipos de informática y software especializado (24,8%), equipos de medición y análisis (21,0%) y equipos de comunicación y redes (19,0%). También destacan los equipos de procesamiento y producción (15,2%) y los sistemas de automatización y robótica (14,3%). En conjunto, estos resultados evidencian que el ecosistema cuenta con capacidades tanto digitales como experimentales, lo que favorece el desarrollo de actividades de investigación aplicada, validación tecnológica y transferencia de conocimiento hacia el sector productivo.

5.4.2.6 Divulgación y apropiación social

La infraestructura para divulgación se encuentra dominada por plataformas digitales y redes sociales (39,7%), seguidas por infraestructura de telecomunicaciones (22,2%) y medios físicos (20,6%). De manera consistente, las principales estrategias de divulgación corresponden a eventos (36,1%), publicaciones (29,2%) y redes sociales (15,3%). Este patrón confirma que el ecosistema ha desarrollado múltiples mecanismos para acercar el conocimiento a públicos externos. La importancia de los eventos y las publicaciones refleja una orientación hacia la interacción directa con comunidades académicas, empresariales

y sociales, mientras que las redes sociales amplían el alcance de estos procesos de comunicación.

5.4.2.7 Implicaciones para la transferencia de conocimiento

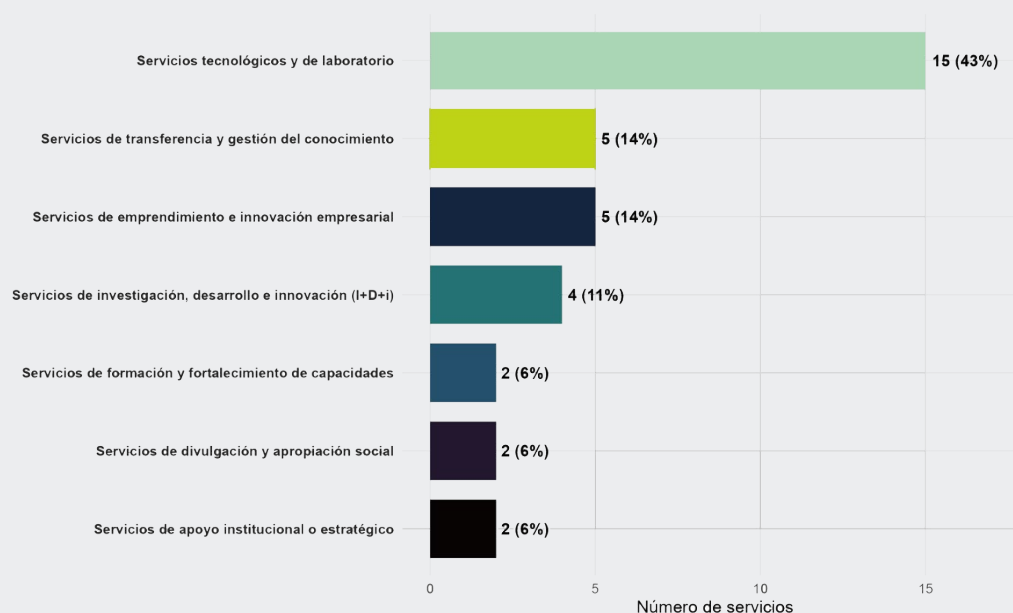
En conjunto, los resultados muestran un ecosistema con fortalezas significativas tanto en capital humano como en infraestructura tecnológica. La combinación de talento altamente calificado, capacidades analíticas, equipamiento científico y mecanismos de divulgación constituye una base sólida para la generación y circulación del conocimiento. Sin embargo, la principal lección derivada de The Innovation Paradox es que estas

capacidades no garantizan automáticamente resultados de innovación. El reto central consiste en fortalecer los mecanismos que permitan que este capital humano y tecnológico sea efectivamente absorbido por empresas, instituciones públicas y comunidades, generando mejoras concretas en productividad, competitividad y bienestar social.

5.4.2.8 Servicios

A continuación, se describen las principales características de los servicios CTI que se ofertan en la ciudad de Medellín, de acuerdo con la encuesta de actores.

Figura 4.4: Servicios por tipo



Nota: elaboración propia a partir de datos de la encuesta de actores CTI en Medellín.

En este sentido, como muestra la Figura 4.4, los servicios tecnológicos y de laboratorio constituyen la principal oferta dentro del ecosistema CTI de Medellín con el 43%, evidenciando una importante capacidad

instalada para la generación de conocimiento aplicado, pruebas, validación tecnológica y desarrollo experimental. En segundo lugar, aparecen los servicios de transferencia y gestión del conocimiento, así como los servicios

formación, divulgación y apropiación social complementan el ecosistema al facilitar la difusión del conocimiento y el fortalecimiento de capacidades en distintos actores.

La segunda palabra más frecuente es “negocios” (1,2%), lo que indica una orientación relevante hacia procesos de desarrollo empresarial, emprendimiento y fortalecimiento de capacidades productivas. Este resultado coincide con la existencia de incubadoras, oficinas de transferencia, parques tecnológicos y entidades de apoyo al emprendimiento identificadas en otras secciones del estudio.

Sin embargo, el principal hallazgo no proviene de una palabra específica sino de la diversidad de términos identificados. El hecho de que existan más de 400 palabras diferentes indica una oferta altamente heterogénea de servicios, característica típica de ecosistemas de innovación relativamente maduros donde coexisten actividades de investigación, transferencia tecnológica, emprendimiento, capacitación, consultoría, manufactura avanzada y apropiación social del conocimiento, con lo cual, enlazando con los demás aspectos vistos de la encuesta, pareciera que hay capacidades construidas, pero poca articulación.

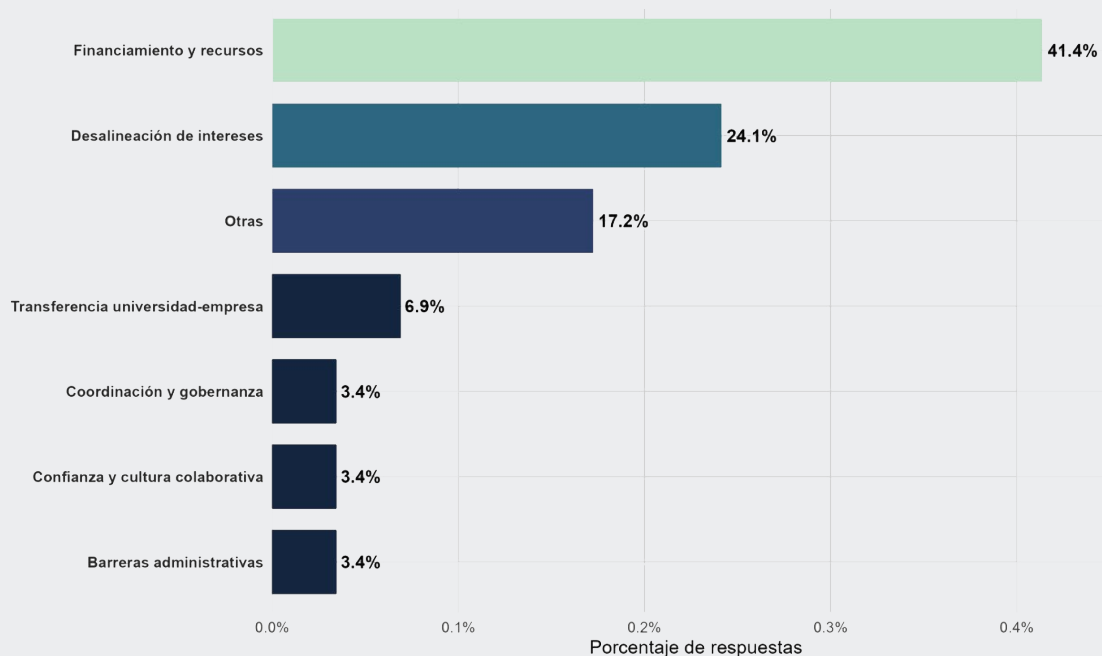
[illegible]

105

Por su parte, la Figura 4.6 muestra que los servicios ofrecidos por los actores del ecosistema CTI de Medellín están dirigidos principalmente a instituciones educativas, empresas y organizaciones vinculadas directamente con actividades de ciencia, tecnología e innovación. Las referencias más frecuentes corresponden a instituciones de educación superior (13,8%) y empresas (12,4%), seguidas por conceptos asociados a ciencia (11,5%) e innovación (11,5%). Asimismo, destaca la presencia de destinatarios relacionados con actividades de CTI (6,9%), centros especializados (5,5%) y entidades de apoyo (5,0%). Estos resultados sugieren que la oferta de servicios del ecosistema está orientada fundamentalmente hacia organizaciones con capacidades previas para generar, absorber o transferir conocimiento,

más que hacia usuarios individuales o públicos generales. Desde la perspectiva de The Innovation Paradox, este hallazgo refleja la existencia de una red de intermediarios y actores especializados que facilitan la circulación del conocimiento entre universidades, centros de investigación, empresas y organizaciones de apoyo. Sin embargo, también evidencia que una parte importante de los esfuerzos del ecosistema continúa concentrándose en actores ya vinculados a procesos de innovación, por lo que uno de los retos futuros consiste en ampliar el alcance de estos servicios hacia empresas con menores capacidades tecnológicas y sectores productivos tradicionalmente menos innovadores.

Figura 4.7: qué produce el ecosistema CTI en Medellín

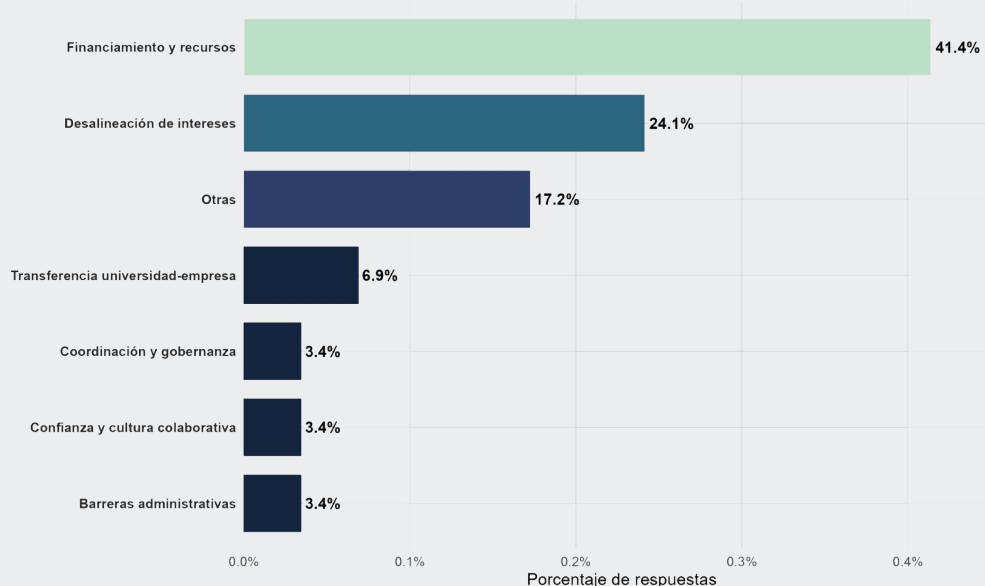


Nota: elaboración propia a partir de datos de la encuesta de actores CTI en Medellín.

Por su parte, la Figura 4.7, muestra que la principal producción de los actores del ecosistema CTI de Medellín corresponde a la formación de recurso humano en CTI, que representa el 61% de los productos reportados. En segundo lugar, se encuentran los prototipos y pruebas de concepto (22%), evidenciando capacidades para desarrollar y validar nuevas tecnologías. En contraste, los resultados más cercanos al mercado presentan una participación menor, como los spin-offs y emprendimientos derivados

(7%), las transferencias de tecnología o licenciamiento (5%) y los productos, procesos o servicios innovadores (4%). Estos resultados sugieren que el ecosistema es particularmente fuerte en la generación de capacidades y conocimiento, pero enfrenta mayores desafíos para transformar dichos resultados en innovaciones comercializables y procesos efectivos de transferencia tecnológica, un patrón consistente con lo planteado por The Innovation Paradox.

Figura 4.8: dificultades del ecosistema CTI en Medellín



Nota: elaboración propia a partir de datos de la encuesta de actores CTI en Medellín.

Finalmente, los datos de la Figura 4.8, muestran que las principales barreras para la articulación del ecosistema CTI de Medellín están relacionadas con el financiamiento y los recursos disponibles (41,4%), seguidas por la desalineación de intereses y agendas entre los actores (24,1%). Los encuestados señalan dificultades para financiar proyectos colaborativos, así como diferencias en objetivos, incentivos y expectativas entre universidades, empresas y organizaciones de

apoyo. En menor medida, también aparecen desafíos asociados a la transferencia universidad-empresa, la coordinación institucional y la confianza entre actores. En conjunto, los resultados sugieren que el principal reto del ecosistema no es la falta de capacidades científicas o tecnológicas, sino la dificultad para movilizar recursos y alinear esfuerzos que permitan transformar dichas capacidades en proyectos colaborativos e innovación con impacto.

6.

Implicaciones del diagnóstico para la transferencia de conocimiento en Medellín

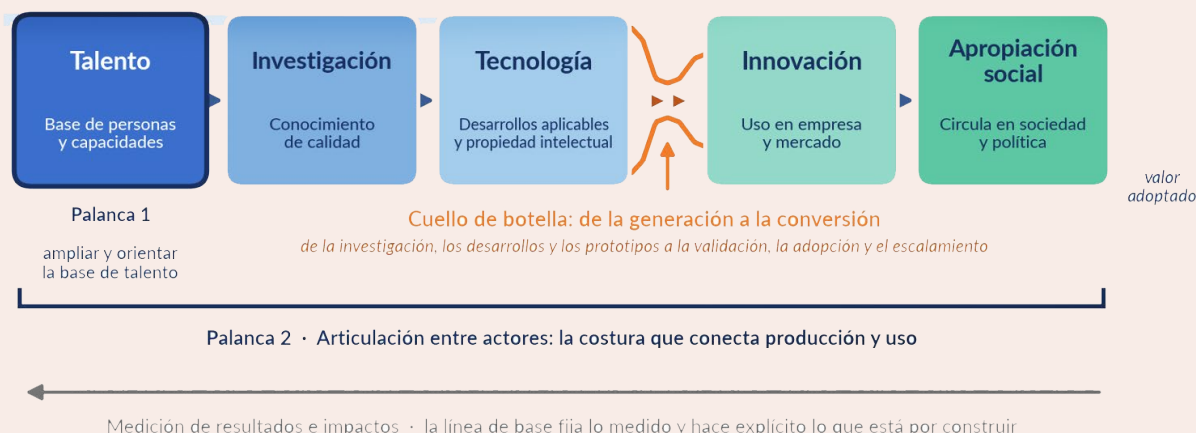
El diagnóstico permite concluir que Medellín cuenta con una base relevante para una agenda de transferencia de conocimiento, con universidades, grupos de investigación, talento, empresas, startups, centros de desarrollo tecnológico, instituciones puente y política pública. Pero la existencia de esos activos no garantiza por sí misma que el conocimiento circule, se adopte y se traduzca en productividad, innovación y bienestar. La conclusión transversal es que el ecosistema genera conocimiento con calidad y encuentra su mayor estrechez al convertirlo en valor, con la articulación entre actores como principal fricción. Es la misma paradoja de la innovación que documentan Cirera y Maloney (2017): en las economías en desarrollo el rezago no está en generar conocimiento, sino en las capacidades para adoptarlo. La transferencia depende de

condiciones adicionales, como demanda informada, capacidades de absorción, investigación orientada al uso, intermediarios fuertes, financiación para la maduración y la adopción, articulación efectiva y medición de resultados.

Esa conclusión proviene de leer el documento como un sistema encadenado. El talento forma la base de personas y capacidades; la investigación la convierte en conocimiento de calidad, (comparable al de Bogotá una vez se controla la escala) y con fortalezas reveladas en lo biomédico, lo químico y lo ambiental; la tecnología protege ese conocimiento, aunque pocas solicitudes cruzan de la patente al mercado; la innovación muestra dos modelos con una absorción desigual entre las empresas; y la apropiación social cierra el ciclo al llevar el conocimiento a la sociedad y a la política, todavía con una confianza pública mejorable. La transferencia es el hilo que recorre los cinco eslabones, y el valor se escapa sobre todo en los puntos de paso, de la generación a la conversión y de cada actor a los demás (Figura 5.1).

Figura 5.1. La transferencia como cadena: los cinco eslabones del ecosistema, el cuello de botella en el paso de la generación a la conversión, y las dos palancas de mayor retorno (la base de talento y la articulación entre actores).

La cadena de transferencia: el valor se estrecha entre la generación y la conversión



Fuente: Elaboración propia.

De esta lectura se desprende dónde se encuentran las oportunidades de impacto. Dos puntos concentran el mayor retorno, no porque los demás eslabones importen menos, sino porque los condicionan a todos: el primero de la cadena, la base de talento, que pone piso o techo al resto, y las costuras que conectan a quienes producen conocimiento con quienes lo usan. Por eso Medellín necesita actuar en dos frentes a la vez, profundizar la calidad, densidad y pertinencia de su ecosistema, y ampliar y actualizar la base de capacidades humanas que lo sostiene, porque la transferencia requiere excelencia, pero también masa crítica para investigar, adaptar, implementar, escalar y apropiar. Esto es decisivo para las vocaciones del Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín, la transformación digital e industrias 4.0, la salud y la seguridad sanitaria, la bioeconomía y la sostenibilidad, la transición energética y la economía creativa con base tecnológica, que sin una base robusta de talento y sin instrumentos que conecten

conocimiento y uso pueden quedar como apuestas y no como trayectorias reales de transformación. Las implicaciones que siguen ordenan lo accionable en ese espíritu, y cada una se nutre de todas las dimensiones.

6.1 De la capacidad instalada a la conversión de valor

Medellín ha acumulado capacidades institucionales, científicas y empresariales de peso, pero su valor depende de que se conecten con problemas concretos y produzcan soluciones a los problemas que enfrenta la sociedad. La principal implicación es desplazar la lectura desde las capacidades instaladas hacia la conversión, evitando confundir producción con transferencia. Una publicación, una patente, un evento o un convenio son productos y no prueban por sí mismos que el conocimiento se haya insertado en procesos sociales.

La distinción entre insumos, productos e impactos ordena ese recorrido. Los insumos son los recursos disponibles, como el talento, la infraestructura, los grupos y los laboratorios; los productos son lo que el sistema genera, como graduados, publicaciones, patentes y desarrollos; los impactos son lo que efectivamente cambia, como la adopción tecnológica, la productividad, los empleos calificados, las soluciones públicas en operación y la apropiación territorial. El diagnóstico encuentra fortalezas en los dos primeros y la mayor estrechez en el tercero, en el paso de la patente al mercado y de la oferta científica a su uso. Convertir exige una trayectoria adicional, identificar una necesidad, formular un reto, conectar capacidades, desarrollar o adaptar una solución, validarla con usuarios, financiar su implementación, escalarla y medir sus resultados. Esa compuerta, y no la generación, es donde se concentra el reto.

6.2 El talento como condición habilitante

El talento es el primer mecanismo de transferencia, porque las personas formadas trasladan competencias, métodos, capacidades y relaciones hacia empresas, entidades públicas y comunidades. Por eso la política postsecundaria no es solo una política educativa o de acceso, sino también de desarrollo productivo, innovación y transferencia. Y por eso su dinámica es la señal más importante del diagnóstico, una señal de alerta: la matrícula de la región se mantuvo prácticamente estancada mientras el país crecía cerca de un 12% en la última década, lo que puede limitar en el mediano plazo la disponibilidad de investigadores, tecnólogos, gestores de innovación y perfiles capaces de implementar soluciones.

La economía de la complejidad ayuda a leer esta implicación, pues entiende la capacidad productiva de un territorio como conocimiento

incorporado en sus personas (Hausmann et al., 2014); ampliar y cualificar el talento es ampliar el acervo productivo de la ciudad. A la dinámica se suma la composición, ya que alrededor de uno de cada cuatro estudiantes se forma en programas STEM y las ciencias básicas tienen poca presencia, justo cuando las vocaciones del Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín demandan esas capacidades. El enfoque STEM no es una línea adicional sino una condición habilitante de las demás apuestas, y su ampliación incorpora creatividad, diseño y pensamiento crítico para que la innovación sea técnicamente sólida y a la vez socialmente pertinente y apropiable.

6.3 Atraer, retener y actualizar talento

Ampliar la base no se resuelve solo con más cupos generales, sino con una estrategia fina de atraer, retener y actualizar. Atraer talento hacia las áreas estratégicas exige instrumentos concretos, como becas focalizadas, residencias académicas y profesionales, prácticas con empresas locales y alianzas con universidades nacionales e internacionales, porque la ciudad no puede depender únicamente del talento que forma localmente. La atracción supone convertir los atributos de Medellín en una propuesta de valor clara para quienes podrían formarse, trabajar o investigar en el Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín.

Orientar el talento no es, sin embargo, solo un asunto de oferta. Las elecciones vocacionales resultan de un equilibrio con retroalimentación entre la oferta educativa y la demanda laboral futura, y se parecen a un proceso de búsqueda y emparejamiento de dos lados, en el que los jóvenes buscan programas y profesiones mientras las empresas buscan egresados con ciertas características (Mortensen y Pissarides, 1994). Cuando ese emparejamiento falla, suele ser por fricciones de información o por desbalances entre lo que el sistema

forma y lo que el mercado demandará. La evidencia sugiere que las decisiones de estudio responden a las percepciones sobre los retornos, que con frecuencia son inexactas, de modo que entregar información sobre retornos y trayectorias modifica las elecciones de los estudiantes (Jensen, 2010; Wiswall y Zafar, 2015; Hastings, Neilson y Zimmerman, 2015), y para América Latina está documentada una desconexión persistente entre las competencias que forma el sistema educativo y las que demandan los empleadores (Bassi et al., 2012). Para el Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín esto implica que orientar la formación hacia sus vocaciones no se logra solo ampliando cupos o becas, sino reduciendo las fricciones de información, con señales claras sobre demanda, retornos y trayectorias, y anticipando la demanda futura de las empresas, para que la oferta educativa y el mercado se ajusten en el tiempo y no por separado.

La retención es igual de importante, porque formar o atraer personas no basta si el tejido productivo no ofrece oportunidades para aplicar sus capacidades. Los datos de inserción y salario muestran señales mixtas, con condiciones favorables para varios perfiles tecnológicos, pero retornos inferiores en algunas áreas universitarias, lo que liga la política de talento con la empleabilidad y la calidad del empleo. La actualización completa la agenda, porque buena parte de la transferencia depende de mejorar las capacidades de quienes ya están en empresas, instituciones y comunidades; rutas flexibles como la educación continua, las microcredenciales, la formación dual, los bootcamps y la reconversión laboral permiten optimizar el talento existente, desde funcionarios y docentes hasta técnicos y emprendedores.

6.4 Capacidades de absorción en empresas, Estado y sociedad

La transferencia no depende solo de la oferta de conocimiento, sino de actores capaces de demandarlo, adaptarlo y usarlo. Es el eslabón donde la tecnología no llega al mercado y donde la innovación se frena por una absorción empresarial desigual. La capacidad de absorción, entendida como la aptitud para reconocer, asimilar y aplicar conocimiento externo, es condición para que la inversión en conocimiento se traduzca en innovación (Cohen y Levinthal, 1990; Audretsch y Belitski, 2020), y el tejido empresarial heterogéneo de la ciudad exige instrumentos diferenciados según el tipo y la madurez de la empresa.

Para una empresa sofisticada, la transferencia puede tomar la forma de I+D, licenciamiento, spin-offs o innovación abierta; para una mipyme, puede significar digitalizar procesos, adoptar software, incorporar analítica básica o implementar estándares de calidad. En el ecosistema de base científico-tecnológica, el reto recurrente es que las EBCT y las spin-offs superen las etapas tempranas y alcancen escala, lo que demanda inversión y capacidades comerciales, regulatorias, financieras y de internacionalización. Fortalecer esta capacidad implica trabajar la demanda y no solo la oferta, con acompañamiento para traducir necesidades en retos, gestionar proyectos y financiar pilotos.

La misma lógica aplica al sector público y a la sociedad. Las entidades públicas necesitan capacidades para formular retos, usar datos, contratar innovación y escalar soluciones, y la compra pública, los usuarios tempranos y los espacios de experimentación pueden ser determinantes para que las innovaciones locales alcancen escala. Desde el talento,

esto significa formar perfiles de transferencia, intermediación y emprendimiento, no solo investigadores, para que la base formativa alimente justamente el eslabón más débil de la cadena.

6.5 Investigación aplicada y vocaciones estratégicas

La oferta científica debe orientarse con más claridad hacia rutas de uso, sin abandonar la investigación básica que sostiene la frontera. El principio de relación de actividades indica que las regiones se diversifican con más éxito hacia campos cercanos a sus capacidades existentes (Hidalgo et al., 2018), lo que respalda priorizar las fortalezas que el propio diagnóstico revela, lo biomédico, lo químico y lo ambiental, antes que apuestas desconectadas de la vocación regional.

La investigación aplicada funciona como puente entre capacidades académicas y problemas del territorio, y cada vocación ofrece rutas concretas: en transformación digital, la adopción de analítica, inteligencia artificial, automatización y ciberseguridad; en salud, la conexión entre universidades, hospitales y empresas alrededor de soluciones clínicas y de gestión; en bioeconomía y transición energética, la articulación de capacidades ambientales, productivas y de ingeniería con usuarios y territorios; en economía creativa, la combinación de diseño, cultura, tecnología y datos. Para que esa investigación sea transferible debe formularse con usuarios identificados, niveles de madurez claros y rutas de validación, adopción y escalamiento. Los proyectos aplicados son, además, instrumentos de formación, porque cuando estudiantes, docentes, empresas y comunidades trabajan sobre un reto real, el talento se cualifica y la capacidad de absorción crece al tiempo.

6.6 Articulación orientada por retos

El cuello de botella del ecosistema no es de capacidades sino de articulación, por el financiamiento de proyectos colaborativos y la desalineación de agendas, incentivos y confianza entre los actores. Medellín tiene una tradición importante de articulación público-privada, pero el diagnóstico muestra dispersión, y la articulación debe avanzar hacia esquemas más ejecutivos, no reunir actores sino organizar capacidades alrededor de problemas concretos, con responsables, recursos, usuarios e indicadores. Un enfoque orientado por retos, anclado en las vocaciones del Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín, ayuda a concentrar agendas y recursos.

La articulación deliberada entre universidad, empresa, Estado es el núcleo del modelo de la triple hélice (Etzkowitz y Leydesdorff, 2000), que entiende la innovación como producto de esa interacción y no de cada actor por separado, y su versión de cuádruple hélice suma a la sociedad: la academia aporta conocimiento y formación, las empresas demanda e implementación, el Estado orientación, financiación, regulación y compra pública, y la sociedad legitimidad, conocimiento situado y apropiación, con intermediarios que traducen lenguajes y estructuran proyectos. Esa articulación debe tener expresión territorial, para que la transferencia llegue también al área metropolitana, a Antioquia y a sus subregiones, y no se piense únicamente desde los actores más sofisticados del núcleo metropolitano.

6.7 Medición para aprender y ajustar

Una implicación transversal es transformar cómo se mide el ecosistema. La transferencia no puede evaluarse principalmente por insumos y actividades, como eventos, convenios o publicaciones, que dicen poco sobre si el conocimiento se usó. El reto es pasar de una lógica centrada en insumos y productos a una orientada a resultados e impactos, y la pregunta relevante cambia: no cuántos actores participaron sino cuántos adoptaron nuevas prácticas, no cuántos proyectos se financiaron sino cuántos llegaron a implementación, no cuántas tecnologías se desarrollaron sino cuántas resolvieron problemas reales.

Esto exige indicadores de uso, adopción e impacto por dimensión. En talento, además de la matrícula y la graduación, la inserción laboral, la calidad del empleo y la movilidad ocupacional; en investigación y tecnología, la adopción de soluciones, las mejoras de productividad y los nuevos productos; en articulación, las decisiones tomadas, los proyectos implementados y los recursos movilizados; y en la apropiación social, la confianza pública y los cambios culturales. Medir con marcos estandarizados, como los del Manual de Oslo (OECD/Eurostat, 2018), permite comparar, aprender y ajustar. La medición debe servir al aprendizaje institucional y a la decisión pública, en ciclos de experimentación, evaluación y ajuste, y no como un fin en sí mismo.

Para que esa medición sea sostenible, el Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín debe generar su propia información y no depender de bases que no controla y que pueden estar desactualizadas. Las fuentes nacionales o externas, como el Observatorio Laboral, los rankings universitarios o las bases bibliométricas, ofrecen referencias útiles y muestran que algunos efectos ya son observables. Pero

la trazabilidad de los resultados a escala de distrito exige instrumentos propios, periódicos y oportunos, como encuestas ciudadanas de cultura científica y percepción, un seguimiento propio a egresados, registros administrativos georreferenciados y paneles de empresas, integrados en un sistema con líneas base, metas y ciclos de revisión bajo el control del Distrito. Ese sistema debe leerse con cautela sobre la atribución, porque los resultados dependen de muchos factores ajenos a una intervención, de modo que los indicadores funcionan como señales para aprender y ajustar y no como pruebas causales definitivas.

6.8 Síntesis

Medellín tiene una oportunidad estratégica para consolidar una nueva etapa de su ecosistema, pero el diagnóstico introduce una alerta sobre la base de talento y una claridad sobre dónde está el reto, no en producir más conocimiento sino en convertirlo y articularlo. Las palancas de mayor retorno están en ampliar y orientar la base de talento, en activar la articulación como función deliberada y en medir lo que hoy no se ve.

Esas tres palancas no son acciones sueltas sino un ciclo. Ampliar y orientar el talento alimenta toda la cadena desde su primer eslabón, y orientarlo es además gestionar el ajuste entre la oferta educativa y la demanda futura, no solo abrir cupos. La articulación conecta a quienes producen conocimiento con quienes lo usan y reduce la fricción donde más se pierde valor. Y la medición cierra el ciclo, porque permite ver qué funciona, corregir y volver a empezar. Juntas convierten capacidades instaladas en valor efectivo, que es la distinción que recorre todo el diagnóstico.

Son intervenciones en el primer eslabón y en las interconexiones del sistema, pero su efecto se propaga a toda la cadena, a una investigación con vocación, a una tecnología que cruza al mercado, a una innovación que las empresas absorben y a una apropiación que la

sociedad reconoce y usa. De ello depende que las vocaciones del Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín se vuelvan trayectorias reales de transformación y no apuestas declarativas. La política pública debe combinar calidad, pertinencia y ampliación de capacidades, orientar la formación hacia las áreas estratégicas, atraer y retener talento, estimular las vocaciones STEM y STEAM y cerrar las brechas de género en disciplinas críticas. El desafío no es producir más ni multiplicar espacios de articulación, sino lograr mayor intensidad y densidad, y que el conocimiento se use, se adapte y se inserte en la vida del Distrito.

Finalmente, la matriz siguiente sintetiza el diagnóstico en su conjunto, operacionalizando los insights que provienen de interceptar todo lo anterior. Cada fila parte de un hallazgo transversal, que cruza los indicadores del ecosistema, la revisión documental y la consulta a los actores, y lo encadena con la evidencia que lo sustenta, la brecha que revela, la implicación que se desprende y el producto o instrumento llamado a retomarlo, de modo que ningún hallazgo quede sin una vía de acción.

Tabla 9. Matriz de cierre del diagnóstico: hallazgos transversales y su encadenamiento de evidencia, brecha, implicación y producto que lo retoma.

Hallazgo	Evidencia	Brecha	Implicación	Producto que lo retoma
El ecosistema genera conocimiento con calidad, pero lo convierte poco en valor adoptado.	Ciencia comparable a Bogotá con la escala bajo control y patentes que rara vez llegan al mercado (indicadores); los actores reportan que su principal producto es la formación de talento, 61%, y muy pocos spin-offs o transferencias (consulta a los actores).	La conversión del conocimiento en valor adoptado.	Centrar el esfuerzo en los mecanismos de transferencia y adopción, no en generar más.	Ruta de articulación y Guía metodológica de proyectos de investigación aplicada y desarrollo experimental en el Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación (CTI) de Medellín.
La articulación entre actores, no la falta de capacidades es el principal cuello de botella.	Ya señalado en la revisión documental y confirmado por los actores, que ubican el financiamiento de proyectos, 41%, y la desalineación de agendas y la confianza, 24%, como sus mayores barreras.	Gobernanza y articulación efectiva.	Articulación deliberada orientada por retos, con responsables, recursos e indicadores.	Ruta de articulación

Hallazgo	Evidencia	Brecha	Implicación	Producto que lo retoma
El talento es el primer eslabón y el principal vehículo de transferencia, pero perdió impulso.	La matrícula de la región se estancó frente a un país que creció cerca de 12% (indicadores); los actores producen sobre todo formación de talento y orientan su personal a intermediación y transferencia (consulta a los actores).	Ampliar y reorientar la base de talento.	Reactivar acceso y permanencia, orientar a STEM y a la vocación, cerrar brechas.	Plan de fortalecimiento de capacidades y desarrollo de talento para vocaciones estratégicas en el Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación (CTI) de Medellín.
La oferta de formación e investigación no está alineada con la demanda ni con la vocación regional.	Baja participación STEM y ciencias básicas escasas, y fortalezas de investigación dispersas (indicadores); la elección vocacional opera como un equilibrio con fricciones de información entre oferta educativa y demanda laboral.	Alinear formación e investigación con la demanda y la vocación.	Orientar por vocaciones y reducir fricciones de información con señales de demanda.	Plan de fortalecimiento de capacidades y desarrollo de talento para vocaciones estratégicas en el Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación (CTI) de Medellín.
La capacidad de absorción del lado de la demanda es desigual y está limitada por el financiamiento.	Dos modelos de innovación con absorción empresarial desigual (indicadores); el financiamiento se sostiene sobre todo con recursos propios, 43%, y es la principal barrera (consulta a los actores).	Absorción en mipymes y sector público, y financiamiento de la maduración.	Fortalecer la demanda, diferenciar por tipo y madurez, abrir financiamiento y compra pública.	Ruta de articulación
La actividad y la excelencia se concentran en pocas instituciones y territorios.	Excelencia investigativa y de apropiación apoyada en pocas instituciones (indicadores); los actores se concentran en pocas comunas, con El Poblado en cerca de un tercio y muchas comunas casi sin presencia (consulta a los actores).	Difusión territorial y ampliación de la base.	Dar expresión territorial a la transferencia hacia el AMVA, Antioquia y subregiones.	Ruta de Articulación

Hallazgo	Evidencia	Brecha	Implicación	Producto que lo retoma
El conocimiento circula hacia expertos y decisiones, menos hacia la ciudadanía, y sus efectos apenas se miden.	Apropiación de perfil experto y baja confianza pública, aunque su ciencia alimenta documentos de política (indicadores); los efectos últimos no se observan y el Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín no genera información propia.	Diálogo social y medición de impacto propia.	Mecanismos de apropiación territorial y un sistema de indicadores del Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín.	Ruta de articulación y Guía metodológica de proyectos de investigación aplicada y desarrollo experimental en el Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación (CTI) de Medellín.

Fuente: Elaboración propia.

Vistos como un sistema, estos hallazgos convergen en un conjunto de capacidades que el ecosistema podría potenciar. La matriz (tabla 5.1) deja entrever varias. La más transversal es la capacidad de articulación y gobernanza, que aparece como el cuello de botella que decide cuánto valor llega al final de la cadena. Junto a ella, dos capacidades de conversión, la de llevar el conocimiento protegido hasta el mercado y la de absorción del lado de la demanda, que determinan si lo generado se adopta y se usa. En el primer eslabón, la capacidad de ampliar y orientar la base de talento hacia la demanda y la vocación, condición que alimenta toda la cadena. Como capacidades que habilitan el aprendizaje del propio sistema, la de dar expresión territorial a la transferencia y la de medir lo que hoy no se observa, que permiten corregir y ampliar la base con el tiempo. Estas nociones no constituyen un plan de acción ni una jerarquía cerrada, son las capacidades críticas que el diagnóstico permite reconocer y que los productos derivados, en particular la Ruta de Articulación, están llamados a priorizar y a traducir en intervenciones concretas.

6.8.1 Propuesta sistema distrital de seguimiento a la transferencia

Tomada en conjunto, la información secundaria revela una asimetría que es, en sí misma, un hallazgo: el ecosistema mide bien sus insumos y sus productos, y de manera solo parcial sus impactos, es decir, lo que ocurre después del graduado, de la publicación, del desarrollo tecnológico protegido, de la empresa innovadora o del producto de apropiación. Una posible estrategia para cerrar esa asimetría es convertir este diagnóstico en la línea de base de un sistema distrital de seguimiento a la transferencia de conocimiento: fijar los valores aquí reportados con su corte y su fuente como punto de partida verificable, ordenar cada dimensión, de talento a ciencia, tecnología, innovación y apropiación social, en la secuencia insumo, producto e impacto, adoptar las brechas de la matriz de cierre como hilo conductor y concentrar el esfuerzo futuro de medición en el eslabón de impacto, hoy no observable con las fuentes disponibles. Esto exige crear los instrumentos que el propio diagnóstico revela como faltantes, un seguimiento propio a egresados, un registro del

licenciamiento tecnológico y de la trayectoria de cada desarrollo protegido con lenguaje TRL, un monitor del tejido productivo regional y una encuesta ciudadana periódica de cultura científica, de modo que la pregunta central deje de ser cuánto se produce y pase a ser cuánto se adopta, se usa y se transforma.

La operación de ese sistema no requiere instancias nuevas: se apoyaría en las que este diagnóstico y sus productos derivados ya definen, actualizaría cada fuente a su propio ritmo y trataría las fuentes de corte único como

fotografías, comparables en el tiempo solo si la nueva medición repite el mismo criterio de extracción. En innovación, el monitor del tejido productivo de la región constituye la mejor medida del impacto, y allí pueden proponerse métricas ambiciosas de productividad a nivel de firma, de sector o de zona geográfica. La línea de base describe y prioriza evidencia; las metas y la segmentación de las intervenciones corresponden a los instrumentos de planeación. La tabla siguiente sintetiza, para cada dimensión, lo ya medido y el impacto por construir.

Tabla 10. Línea de base disponible e impactos por construir del sistema distrital de seguimiento a la transferencia de conocimiento, por dimensión.

Dimensión	Línea de base disponible (valor y corte)	Impacto por construir (énfasis del sistema)	Instrumento y fuente	Brecha
Talento	Matrícula de cerca de 308 mil, estable 2014-2024 frente al crecimiento nacional (SNIES, 2024); graduados con crecimiento de 20% frente a 52% del país; 25,2% en programas STEM con brechas de género de hasta 88,6% (ICFES, 2024); salarios y formalidad favorables, líderes en el nivel tecnológico (OLE, 2024).	Vinculación de los graduados a las vocaciones del Distrito, movilidad ocupacional y retención del talento en el territorio.	Seguimiento propio a egresados, con apoyo del Observatorio Laboral; por definir	B3, B4
Ciencia	Cerca de 24.200 investigadores y 799 grupos, 384 en A y A1 (ScienTI, 2025); productividad por investigador equivalente a Bogotá; impacto de citación sobre el promedio mundial y coautoría internacional del 45% (SciVal, 2020-2024).	Uso efectivo del conocimiento científico por empresas, Estado y territorio, mediante proyectos aplicados con usuarios identificados.	Registro de proyectos aplicados conforme a la Guía metodológica (TRL); por definir	B1, B4
Tecnología	Cerca de 600 patentes universitarias por titularidad, con sus tasas de concesión (Lens. org, mayo de 2026); en 9 casos trazadores, 6 con transferencia o adopción, 3 con mercado y 1 con escalamiento (muestra priorizada, no censo).	Licenciamiento tecnológico y trayectoria posterior de cada desarrollo protegido (licenciado, adoptado, vendido, escalado o abandonado), ingresos asociados y spin-offs activas; hoy solo se conocen casos, no estadística.	Registro de licenciamiento y seguimiento de tecnologías con lenguaje TRL, con OTRI y universidades; anual, por definir	B1

Dimensión	Línea de base disponible (valor y corte)	Impacto por construir (énfasis del sistema)	Instrumento y fuente	Brecha
Innovación	Intensidad de ACTI sobre ventas de 5,5% frente a 2,0% de Bogotá y Cundinamarca (ANDI, edición 2025); 24% de las EBCT del país y 45% de la vertical HealthTech/ Biotech (Sciencepreneurs, 2025); 8 de las 25 empresas más innovadoras del país.	Monitor del tejido productivo regional como medida última de la innovación: productividad a nivel de firma, de sector o de zona geográfica; supervivencia, escalamiento y ventas de las EBCT; adopción de soluciones por mipymes y entidades públicas.	Monitor distrital del tejido productivo (panel de firmas y registros administrativos) y registro de compra pública; por definir	B1, B5
Apropiación social	Penetración del 33% del talento, con perfil experto (69% asesoría y productos aplicados); 4,8% de la producción citada por documentos de política (SciVal Overton, 2020-2025); confianza en la ciencia solo nacional, 0,6304 (WVS, 2018).	Indicadores locales de impacto: confianza en la ciencia, interés, alfabetización, uso cotidiano del conocimiento, utilidad social percibida, vocaciones juveniles y uso de evidencia en instrumentos distritales.	Encuesta ciudadana distrital periódica, con las fórmulas propuestas en la Tabla 7; por definir	B7
Articulación (transversal)	La producción del ecosistema se concentra en formación (61%) frente a transferencias (5%) y spin-offs (7%); barreras: financiamiento (41,4%) y desalineación de agendas (24,1%); El Poblado concentra un tercio de los actores (encuesta de actores, 2026).	Retos del territorio resueltos mediante proyectos colaborativos con responsables, recursos e indicadores, y recursos movilizados.	Registro de seguimiento de la Ruta de articulación; por definir	B2, B6

Las brechas corresponden a la matriz de cierre: B1 conversión, B2 gobernanza y articulación, B3 base de talento, B4 pertinencia y vocación, B5 absorción y financiamiento, B6 difusión territorial, B7 diálogo social y medición propia. Fuente: elaboración propia a partir de este diagnóstico.

7. Referencias

- Adams, J. (2013). Collaborations: The fourth age of research. *Nature*, 497(7451), 557–560. <https://doi.org/10.1038/497557a>
- Alcaldía de Medellín. (2025). Plan del Sistema Distrital de Ciencia, Tecnología e Innovación para la Sostenibilidad 2024–2033 [Decreto].
- ANDI. (2022). Encuesta de talento humano ANDI: Resultados generales. Asociación Nacional de Empresarios de Colombia.
- ANDI. (2026). Ranking de innovación empresarial. Asociación Nacional de Empresarios de Colombia.
- Audretsch, D. B., & Belitski, M. (2020). The role of R&D and knowledge spillovers in innovation and productivity. *European Economic Review*, 123, 103391. <https://doi.org/10.1016/j.euroecorev.2020.103391>
- Balassa, B. (1965). Trade liberalisation and “revealed” comparative advantage. *The Manchester School*, 33(2), 99–123. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9957.1965.tb00050.x>
- Bassi, M., Busso, M., Urzúa, S., & Vargas, J. (2012). Disconnected: Skills, education, and employment in Latin America. Inter-American Development Bank. <https://doi.org/10.18235/0012582>
- Bell, A., Chetty, R., Jaravel, X., Petkova, N., & Van Reenen, J. (2019). Who becomes an inventor in America? The importance of exposure to innovation. *The Quarterly Journal of Economics*, 134(2), 647–713. <https://doi.org/10.1093/qje/qjy028>
- Bloom, N., Jones, C. I., Van Reenen, J., & Webb, M. (2020). Are ideas getting harder to find? *American Economic Review*, 110(4), 1104–1144. <https://doi.org/10.1257/aer.20180338>
- Bornmann, L., Haunschild, R., & Marx, W. (2016). Policy documents as sources for measuring societal impact: How often is climate change research mentioned in policy-related documents? *Scientometrics*, 109(3), 1477–1495. <https://doi.org/10.1007/s11192-016-2115-y>
- Bowen, G. A. (2009). Document analysis as a qualitative research method. *Qualitative Research Journal*, 9(2), 27–40. <https://doi.org/10.3316/QRJ0902027>
- Cirera, X., & Maloney, W. F. (2017). The innovation paradox: Developing-country capabilities and the unrealized promise of technological catch-up. World Bank. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1160-9>
- Cohen, W. M., & Levinthal, D. A. (1990). Absorptive capacity: A new perspective on learning and innovation. *Administrative Science Quarterly*, 35(1), 128–152. <https://doi.org/10.2307/2393553>
- Congreso de Colombia. (2023). Ley 2286 de 2023, por la cual se dictan disposiciones para el Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín.
- Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2018). Designing and conducting mixed methods research (3.ª ed.). SAGE Publications.
- CUEE, & McKinsey & Company. (2022). Acelerando el desarrollo del ecosistema de innovación de Medellín.
- DANE. (2023). Proyecciones de población y producto interno bruto departamental [Conjunto de datos]. Departamento Administrativo Nacional de Estadística.
- DNP. (2024). Documento CONPES 4130: Política para impulsar la vocación del Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín. Departamento Nacional de Planeación.

- Elsevier. (2026). SciVal [Plataforma de analítica de investigación basada en Scopus]. <https://www.scival.com/>
- Etzkowitz, H., & Leydesdorff, L. (2000). The dynamics of innovation: From National Systems and “Mode 2” to a Triple Helix of university-industry-government relations. *Research Policy*, 29(2), 109–123. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(99\)00055-4](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(99)00055-4)
- European Commission. (2022). Guiding principles for knowledge valorisation and implementing codes of practice. Publications Office of the European Union. <https://research-and-innovation.ec.europa.eu/>
- Guevara, M. R., Hartmann, D., Aristarán, M., Mendoza, M., & Hidalgo, C. A. (2016). The research space: Using career paths to predict the evolution of the research output of individuals, institutions, and nations. *Scientometrics*, 109(3), 1695–1709. <https://doi.org/10.1007/s11192-016-2125-9>
- Hastings, J. S., Neilson, C. A., & Zimmerman, S. D. (2015). (Un)informed college and major choice: Evidence from linked survey and administrative data (NBER Working Paper No. 21330). National Bureau of Economic Research.
- Hausmann, R., Hidalgo, C. A., Bustos, S., Coscia, M., Simoes, A., & Yildirim, M. A. (2014). The atlas of economic complexity: Mapping paths to prosperity. MIT Press.
- Hidalgo, C. A., Balland, P.-A., Boschma, R., Delgado, M., Feldman, M., Frenken, K., Glaeser, E., He, C., Kogler, D. F., Morrison, A., Neffke, F., Rigby, D., Stern, S., Zheng, S., & Zhu, S. (2018). The principle of relatedness. En *Unifying themes in complex systems IX* (pp. 451–457). Springer.
- Hidalgo, C. A., & Hausmann, R. (2009). The building blocks of economic complexity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(26), 10570–10575. <https://doi.org/10.1073/pnas.0900943106>
- Hidalgo, C. A., Klinger, B., Barabási, A.-L., & Hausmann, R. (2007). The product space conditions the development of nations. *Science*, 317(5837), 482–487. <https://doi.org/10.1126/science.1144581>
- Hsieh, C.-T., Hurst, E., Jones, C. I., & Klenow, P. J. (2019). The allocation of talent and U.S. economic growth. *Econometrica*, 87(5), 1439–1474. <https://doi.org/10.3982/ECTA11427>
- ICFES. (2024). Pruebas Saber 11 y Saber Pro [Conjunto de datos]. Instituto Colombiano para la Evaluación de la Educación.
- Jensen, R. (2010). The (perceived) returns to education and the demand for schooling. *The Quarterly Journal of Economics*, 125(2), 515–548. <https://doi.org/10.1162/qjec.2010.125.2.515>
- KPMG. (2024). Colombia tech report 2024.
- The Lens. (2026). The Lens: Datos de patentes y publicaciones científicas [Conjunto de datos]. Cambia. <https://www.lens.org/>
- Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación. (s. f.). Modelo de medición de grupos de investigación, desarrollo tecnológico o de innovación.
- Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación. (2016). Actores del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (Resolución No. 1473 de 2016).
- Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación. (2021). Política pública de apropiación social del conocimiento en el marco de la CTI. <https://minciencias.gov.co/>
- Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación. (2024). Plataforma ScienTI: CvLAC y GrupLAC [Conjunto de datos].

- Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. (2024). Informe de tejido empresarial.
- Ministerio de Educación Nacional. (2024a). Observatorio Laboral para la Educación (OLE) [Conjunto de datos]. <https://ole.mineduacion.gov.co/>
- Ministerio de Educación Nacional. (2024b). Sistema Nacional de Información de la Educación Superior (SNIES) [Conjunto de datos]. <https://snies.mineduacion.gov.co/>
- Mortensen, D. T., & Pissarides, C. A. (1994). Job creation and job destruction in the theory of unemployment. *The Review of Economic Studies*, 61(3), 397–415.
- OECD/Eurostat. (2018). Oslo manual 2018: Guidelines for collecting, reporting and using data on innovation (4.^a ed.). OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264304604-en>
- QS Quacquarelli Symonds. (2024). QS Latin America University Rankings. <https://www.topuniversities.com/>
- Romero-Rodríguez, J.-M., Ramírez-Montoya, M.-S., Aznar-Díaz, I., & Hinojo-Lucena, F.-J. (2020). Social appropriation of knowledge as a key factor for local development and open innovation: A systematic review. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 6(2), 44. <https://doi.org/10.3390/joitmc6020044>
- Szomszor, M., & Adie, E. (2022). Overton: A bibliometric database of policy document citations. *Quantitative Science Studies*, 3(3), 624–650. https://doi.org/10.1162/qss_a_00204
- Wagner, C. S., & Leydesdorff, L. (2005). Network structure, self-organization and the growth of international collaboration in science. *Research Policy*, 34(10), 1608–1618. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2005.08.002>
- Wiswall, M., & Zafar, B. (2015). Determinants of college major choice: Identification using an information experiment. *The Review of Economic Studies*, 82(2), 791–824.
- World Values Survey Association. (2022). World Values Survey [Conjunto de datos].

Medellín está

UNA CIUDAD QUE GENERA, APROPIA Y TRANSFIERE CONOCIMIENTO

Tecnnova 

SAPIENCIA
Agencia de Educación
Postsecundaria de Medellín


Alcaldía de Medellín
Distrito de
Ciencia, Tecnología e Innovación